DIE NATURWISSENSCHAFTEN

17. Jahrgang 8. März 1929 Heft 10

Die Krebszelle[1].

Von ALBERT FISCHER, Berlin-Dahlem.

(Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Biologie, Gastabteilung Dr. A. FISCHER aus Kopenhagen.)

Meine Damen und Herren! Der Krebs gehört zu den Krankheiten, die am frühesten erkannt und beschrieben worden sind, und doch ist seine Erforschung erst heute für wissenschaftliche Methoden zugänglich geworden. Die Krebsgeschwulst selbst und der Organismus, der sie beherbergt, war der Zentralpunkt, um den sich diese ersten Forschungen drehten. Mit der Entwicklung der mikroskopischen Technik sammelte sich das Interesse um den Bau der Krebsgeschwulst und um die Zellen, aus denen das Geschwulstgewebe zusammengesetzt ist. Auf diesem Stadium der Untersuchungen ist die Krebsforschung merkwürdigerweise die letzten 3 Jahrzehnte hindurch stehengeblieben. Es besteht kein Zweifel, daß die bakteriologische Ära gerade in dieser Periode ihre Spuren auch auf dem Gebiete der Krebsforschung hinterlassen hat. Zum Teil hat sie ihr eine experimentelle Richtung gegeben, aber meiner Meinung nach war sie auch die direkte Ursache der Verzögerung von wirklichen Fortschritten in der Forschung. Fast 30 Jahre lang hat man in Laboratorien Krebsgewebe von Tier zu Tier überimpft unter der mehr oder weniger fixen Vorstellung, daß ein Erreger die Ursache dieser Krankheit ist. Diese Versuche haben uns indessen keinen Grund zu der Annahme einer Infektionstheorie gegeben.

Während die Behandlung einer ganzen Reihe von Krankheiten, z. B. Störungen in der Funktion der Bauchspeicheldrüse, Schilddrüse usw. durch und durch auf wissenschaftlicher Grundlage beruht, ist die Behandlung der Krebskrankheit noch ganz empirisch. Wir können nicht erwarten, daß der Entstehung maligner Geschwülste vorgebeugt oder eine Heilung durchgeführt werden kann, solange die Bedingungen für ihre Entstehung oder ihr Wachstum unbekannt bleiben. Das Krebsproblem muß von einem physiologischen Gesichtspunkt aus angegriffen werden.

Unsere bisherigen Erfahrungen haben uns gelehrt, daß chemische, physikalische, parasitäre und bakterielle Einflüsse auf einen Organismus die Entstehung von Krebs bewirken können. Mit anderen Worten: die verschiedensten chronischen Reize in einer passenden Quantität und Dauer können die Krankheit zum Entstehen bringen. Krebs beteiligt sich an dem fundamentalsten aller biologischen Prozesse, nämlich an der Regeneration und dem Wachstum und besteht tatsächlich in einer Abweichung von den normalen Vorgängen. Das Problem des Wachstums von bösartigen Zellen muß deshalb, wie bei normalen Zellen, von einer physiologischen Seite studiert werden. Ganz wie normale Gewebezellen und Bakterien können Krebszellen nicht allein durch ihre Morphologie definiert werden, sondern auch durch ihre physiologischen Eigenschaften.

Erst mit Hilfe von 2 hervorragenden neuen Untersuchungsmethoden: Der Technik der Züchtung tierischer Gewebezellen außerhalb des Organismus und der von OTTO WARBURG ausgearbeiteten Technik zur Messung des respiratorischen Stoffwechsels der Gewebe ist es möglich geworden, die Physiologie der Krebszelle zu studieren und qualitative Begriffe mit quantitativen Verhältnissen auszutauschen. Die Krebszelle ist eigentlich dadurch erst zu dem modernen Begriff von heute geworden. Auf Grund des durch diese Methoden Erforschten will ich versuchen, Ihnen die lebende Krebszelle zu charakterisieren. Natürlich sind wir uns darüber klar, daß dieses Bild einer Krebszelle noch weit davon entfernt ist, vollständig zu sein.

Es ist Ihnen sicher bekannt, daß die verschiedenen Gewebezellen außerhalb des Organismus gezüchtet werden können. Wir besitzen Stämme von solchen Gewebezellen, von denen einige mehrere Jahre alt sind, einer hat eben in diesen Tagen seinen 17. Geburtstag. Sie können zu physiologischen Experimenten benutzt werden. Ihr Wachstum kann gemessen werden. Die Zellen reagieren nämlich prompt auf Veränderungen in den umgebenden Medien der Konzentration von Substanzen, die das Wachstum befördern oder hemmen. Zum Experiment brauchen wir Reinkulturen von Zellen in einem bekannten Zustand von Aktivität und gezüchtet in Medien von konstanter Zusammensetzung. Hiermit können Versuche über den Einfluß eines Gewebes auf ein anderes und den Einfluß, den die Organflüssigkeit auf die Zellen ausüben, angestellt werden. Wir sind außerdem in der Lage, bösartige Gewebezellen, also echte Krebszellen, mit der gleichen Sicherheit zu züchten wie Bakterien, Tuberkelbacillen, Pestbacillen usw.

Vor beinahe 6 Jahren ist es uns gelungen, die ersten permanenten Stämme von Krebszellen anzulegen. Es waren Hühnersarkomzellen, die dem berühmten ROUS-Sarkom angehören. Übrigens hat dieser Hühnerkrebs lange Zeit beim Pathologen in Mißkredit gestanden. Es zeigte sich nämlich, daß diese Geschwulst durch ein zellfreies Filtrat von Geschwulstpreßsäften auf gesunde Hühner übertragen werden kann. Dies erweckte durchaus

[1] Vortrag gehalten vor der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft in der Berliner Universität am 9. Januar 1929.

den Eindruck, daß man es doch mit einem Erreger zu tun hätte, der durch die feinsten Poren eines Porzellanfilters hindurchgepreßt werden könnte. Die Untersuchungen des Baues eines solchen Geschwulstgewebes ergaben, daß es aus mehreren Zellarten besteht. Bei Züchtung eines kleinen Stückchens von Geschwulstgewebe konnte man ein Wachstum von 2 ganz verschiedenen Zellformen beobachten, einen bindegewebsähnlichen Zelltyp und eine typische Wanderzelle mit lebhaften amöboiden Bewegungen. Es ist uns gelungen, beim Züchten dieser 2 verschiedenen Zelltypen zu entscheiden, ob beide Typen bösartig sind oder ob die malignen Potenzen nur einer der beiden Typen angehören. Der stark bewegliche Zelltypus, den ich Ihnen nachher auf der Leinwand demonstrieren werde, wurde dabei als der verantwortliche Träger der malignen Eigenschaften gefunden. Nach Überimpfung von Reinkulturen dieser typischen Wanderzellen auf gesunde Hühner entwickelte sich Krebs, der zum spontanen Tod der Tiere führte, wogegen Überimpfung von Reinkulturen von den bindegewebeähnlichen Zellen immer negativ verlief. Sie werden aus diesem Grundversuch ersehen, meine Damen und Herren, daß man imstande ist zu zeigen, welche von den beiden Zellkomponenten die eigentliche Krebszelle ist, eine Tatsache, die man unmöglich durch irgendwelche anderen existierenden Methoden herausbringen könnte und am wenigsten von allen durch die so viel geübte Überimpfung von Krebsgeweben von Tier zu Tier. Wir waren seither imstande, diese Zellen unbegrenzt durch viele Jahre hindurch weiterzuzüchten, ohne daß sie die Fähigkeit, neue Geschwülste bei Überimpfung auf ein Tier zu entwickeln, verloren hätten; dies ist also eine Eigenschaft, die nur an diese Zellen gebunden ist und an keine anderen. Eine ganze Reihe vergleichender Untersuchungen an bösartigen Makrophagen und an den entsprechenden normalen Zellen ist unternommen worden, auf die ich noch bei der Besprechung der echten Säugetierkrebszellen zurückkommen werde. Auch bei den Säugetierkrebszellen hat es sich nämlich gezeigt, daß die bösartigen Potenzen an ganz bestimmte Zellen gebunden sind.

Vor 2 Jahren ist es uns hier in *Dahlem* gelungen, eine Methode zur unbegrenzten Züchtung von Säugetierkrebszellen auszuarbeiten. Wir besitzen seitdem einen Mäusecarcinomstamm, der jetzt also 2 Jahre alt ist. Dieser Krebszellenstamm hat es ermöglicht, in einem höheren Grade und noch genauer die Wachstumsgeschwindigkeit solcher Zellen zu messen. Zwei Hälften einer solchen Kultur wachsen unter identischen Bedingungen mit einer solchen Gleichmäßigkeit, daß höchstens ein Unterschied von 5% besteht. Das Züchtungsmedium für die Krebszellen besteht aus einer Mischung von Rattenplasma und Hühnerplasma, dem Hühnerembryonalextrakt zugesetzt ist. Der Gebrauch von heterologem Medium, also einem den Zellen artfremden Medium, ist uns aus rein praktischen Gründen diktiert, da es nicht möglich ist, von einem so kleinen Tier, wie der Maus, genügende Mengen Plasma zu gewinnen. Desto interessanter ist es aber zu erfahren, daß die Geschwulstzellen imstande sind, dauernd unendliche Mengen von neuem Zellprotoplasma aufzubauen aus Substanzen, die von Tieren stammen, auf die unser Mäusecarcinom sich nicht übertragen läßt. Die Zellen haben die ganzen 2 Jahre hindurch ihre Fähigkeit, Krebs zu entwickeln, wenn sie auf gesunde Tiere überimpft werden, beibehalten. Die Kulturen ergaben nach Überimpfung in 100% Geschwülste.

Daß der Krebs nicht von einem spezifischen Erreger erzeugt wird, wie die Diphtherie von dem Diphtheriebacillus, die Tuberkulose vom Tuberkelbacillus und die Syphilis von der Spirochaeta pallida, dagegen sprechen, wie gesagt, sowohl unsere klinischen wie unsere experimentellen Erfahrungen. Die Krebszelle ist ein Produkt des Organismus selbst im Gegensatz zu den Erregern der Infektionskrankheiten, die von außen kommen und dem Organismus gegenüber ganz fremd sind. Wir können uns deshalb mit einem gewissen Recht die Krebszelle als Erreger der Krebskrankheit vorstellen und als solchen betrachten. Ist sie einmal gebildet worden, so scheint es leider, jedenfalls sprechen unsere bisherigen Untersuchungen dafür, als ob der Vorgang ein irreversibler Prozeß ist. Was eigentlich innerhalb der Zellen selbst während ihrer Umwandlung zu Krebszellen vor sich geht, darüber wissen wir noch nichts, und unsere Unwissenheit kann vielleicht nur dem Mangel an Kenntnis der Bedingungen der Wachstumsphänomene im allgemeinen zugeschrieben werden.

Unsere erste Aufgabe war es nun, experimentelle Tatsachen zu sammeln, um zu versuchen, das große Rätsel zu beleuchten, warum die Krebszellen unbegrenzt und schrankenlos zwischen den schlummernden Zellen in einem erwachsenen Organismus weiterproliferieren. Wie kommt es wohl, daß diese Zellen eines solchen zügellosen Wachstums fähig sind und daß sie nicht dem wachstumsregulierenden Mechanismus im gesunden Zellstaat unterworfen sind? Diese Frage kann man auch umdrehen, sie lautet dann: Was hält das Wachstum der normalen Gewebezellen innerhalb eines gewissen ihnen gegebenen Rahmens? Da diese 2 Fragen unzweifelhaft zusammenhängen, werden die experimentellen Befunde, die zur Erklärung der einen führen, möglicherweise auch die Erklärung der anderen Frage ergeben.

Das Wachstum von normalen Gewebezellen hängt von der Konzentration von Nährstoffen in der pericellulären Flüssigkeit ab, aus welchen sie ihren Zellkörper aufbauen. Man könnte sich deswegen ein Medium vorstellen, das ausreichend für Geschwulstzellen, für normale Zellen aber insuffizient ist. Dieses konnten wir tatsächlich auch bei unseren Untersuchungen nachweisen. Im Blut, so wie es im Organismus vorkommt oder so wie wir es in Kulturen benutzen, von seinem cellulären Inhalt befreit, sind nicht Stoffe in einer genügenden Konzentration vorhanden, um das Wachstum und

die Ernährung von fixen Gewebezellen in vitro dauernd zu unterhalten. Dazu sind viel mehr Stoffe notwendig, wie sie im Preßsaft von Embryonen vorkommen oder in gewissen höheren Abbauprodukten der Eiweißkörper. Fixe Gewebezellen können nicht von Blutplasma oder Serum als einziger Nahrung leben. Bringt man normale Gewebezellen und Krebszellen zusammen in ein Medium, das ausschließlich aus Plasma und Serum besteht, setzen die malignen Zellen ihre Proliferation fort. Die normalen Zellen aber wachsen zwar anfangs auf Kosten der Nährsubstanzen, die in den Zellen gespeichert sind (Residualwachstumsenergie), stellen dann aber ihr Wachstum ein und gehen schließlich zugrunde.

Außerdem haben wir gefunden, daß normale Zellen, die in protoplasmatische Berührung mit Krebszellen kommen, Substanzen freigeben, die, ohne selbst Nahrungsstoffe zu sein, die Wachstumsgeschwindigkeit bedeutend zu erhöhen vermögen. Es scheint sich hier um Acceleratoren zu handeln, die die Proliferation der Krebszellen beschleunigen. Wahrscheinlich ist es aber nicht so, daß das Endresultat größere Kulturen ergibt, sondern so, daß sie unter den experimentellen Bedingungen schneller zu einem terminalen Wachstum gelangen als die, die nicht mit normalen Zellen in Berührung kommen. Jede dieser beiden Tatsachen reicht eigentlich für sich allein aus, um das schrankenlose Wachstum der Krebszelle in einem Organismus zu erklären.

Wenn man diesen Befund mit anderen Eigenschaften der Krebszellen zusammenbringt, so haben wir vielleicht noch eine Erklärung für die erwähnten Vorgänge. Bösartige Gewebezellen sind meistens im Besitz der Eigenschaft, das geronnene Plasmamedium in Kulturen zu verflüssigen, einer Eigenschaft, die alle normalen Zellen mit ihnen teilen, wenn sie unter schädigenden Einflüssen stehen und absterben. Die Verdauung des Plasmamediums ist an autolytische Prozesse der Zellen gebunden. Die Proteolyse beschränkt sich nicht allein auf die Zellen selbst, sondern greift auch auf das umgebende Fibrinnetz über. Die Eigentümlichkeit bei Geschwulstzellen, sich selbst so vollständig zu vernichten und gleichzeitig das umgebende Fibrinnetz, steht möglicherweise im funktionellen Zusammenhang mit der von OTTO WARBURG entdeckten Glykolyse der Geschwulstzelle. Dafür spricht erstens, daß die Proteolyse durch die aus der Glykolyse entstandene erhöhte Wasserstoffionenkonzentration begünstigt wird und zweitens, daß normale Zellen, die, wie wir finden, das Plasmagerinnsel verdauen, auch bedeutende glykolytische Eigenschaften besitzen. Auf der anderen Seite gibt es auch Ausnahmen, z. B. die Netzhaut, die stark glykolysiert, doch ohne bösartiges Gewebe zu sein und ohne in höherem Grade proteolytische Eigenschaften in vitro zu besitzen. Selbstverständlich besteht auch die Möglichkeit, daß die beiden Eigenschaften, verstärkte Glykolyse und Proteolyse, getrennte Vorgänge sind.

Charakteristisch sowohl für Carcinom- wie Sarkomzellen ist das beinahe paradoxale, daß es Zellen sind, die gegenüber normalen Zellen eine viel kürzere Lebensdauer und bei Schädigungen viel geringere Widerstandsfähigkeit aufweisen. Die Krebszelle ist eine kranke Zelle. Sie ist in sich selbst Träger eines chronischen Reizes, der unter anderem ein frühes Absterben bedingt. Es besteht eine nicht geringe Wahrscheinlichkeit dafür, daß die kurze Lebensdauer der Zelle und deren Ursache das Wesentliche im ganzen Mysterium der Krebszelle ist. Die physiologische Konsequenz eines Substanzverlustes, des Zugrundegehens von Zellen, ist Proliferation. Da nun die bösartigen Zellen kurzlebig sind, könnte dem Krebswachstum die physiologische Reaktion des Zellersatzes zugrunde liegen. Man stellte sich eigentlich vor, daß die Krebszelle schneller proliferiert als normale Gewebezellen unter den für normale Gewebezellen optimalen Bedingungen in vitro. Das tun sie jedoch nicht. Kulturen von bösartigen Zellen proliferieren sogar langsamer. Wir können infolgedessen das unbegrenzte und schrankenlose Wachstum der malignen Zellen im Körper nicht dadurch erklären, daß sie gegenüber den normalen Zellen die Eigenschaft schnellerer Proliferation überhaupt besitzen. In Kulturen tun sie es nicht. Dagegen wachsen die bösartigen Zellen im Organismus den normalen Zellen gegenüber relativ schneller, weil die Proliferation von den normalen Gewebezellen hier nicht *ad maximum* vor sich geht. Nur bei bestimmten Gelegenheiten, wie bei Wundheilung, entfalten die normalen Zellen erst eine größere Wachstumsenergie.

Es ist nicht meine Aufgabe, Sie mit der Aufzählung aller Charaktereigenschaften der Geschwulstzellen zu ermüden, die wir bisher herausgefunden haben und die in diesem Zusammenhang nicht so wesentlich sind, sondern ich will kurz zusammenfassen und zeigen, daß eine Reihe von Tatsachen besteht, die zum Teil das Wesen der Malignität der Krebszellen erklärt.

Mit Hilfe moderner Untersuchungsmethoden ist es möglich geworden, die Physiologie sowohl gesunder wie kranker Gewebezellen zu studieren unabhängig von dem Organismus, dem sie angehören.

Um etwas über Krebszellen aussagen zu können, mußten erst umfassende Untersuchungen über die elementaren Eigenschaften der normalen Gewebezellen in vitro unternommen werden.

Vergleichende Untersuchungen über normale und bösartige Gewebezellen haben einige Punkte ergeben, worin diese Zellen voneinander abweichen.

Wir können zusammenfassend folgendes sagen:

Die Krebszelle ist eine wenig resistente Zelle und ihre Lebensdauer ist kurz.

Außer dem von OTTO WARBURG gefundenen aeroben Gärungsstoffwechsel (aerobe Glykolyse) besitzen die bösartigen Gewebezellen starke proteolytische Fähigkeiten, vermehrte auto- und heterolytische Eigenschaften.

Die bösartigen Zellen sind anspruchsloser in bezug auf Nahrung. Sie sind imstande, mit Hilfe von Stoffen im Blutserum als einziger Nahrung zu proliferieren, und zwar auch mit artfremdem Serum, das für normale Zellen insuffizient bzw. toxisch ist.

Außerdem geben die verschiedensten gesunden Gewebezellen, mit denen die Krebszelle in Berührung kommt, Stoffe ab, die die Wachstumsgeschwindigkeit der Krebszelle beschleunigen.

Wir haben gefunden, daß die untersuchten Geschwulstzellen, sowohl Sarkom- wie Carcinomzellen, imstande sind, alle anderen den Kulturen zugesetzten normalen Gewebezellen, homologe und heterologe, zu überwuchern.

Die Proliferationsgeschwindigkeit der Geschwulstzelle in vitro übersteigt bei den besten Ernährungsbedingungen keinesfalls die der normalen Zelle, eher ist sie noch geringer.

Jede dieser kardinalen Eigenschaften der Geschwulstzellen ist eigentlich eine genügende Erklärung dafür, warum sie imstande sind, schrankenlos in einem erwachsenen Organismus zu proliferieren. Diese Eigenschaften sind: die aerobe Glykolyse, die erhöhte Proteolyse, die Fähigkeit, unbegrenzte Mengen Protoplasma aus Stoffen, die für normale Gewebezellen insuffizient sind, aufzubauen und gewisse intracelluläre Wachstumsprinzipien von gesunden Zellen, mit welchen sie in Kontakt kommen, auszunutzen.

Energieumsetzungen in Venturidüsen.

Von A. Betz, Göttingen.

(Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Strömungsforschung.)

Unter den zahlreichen Windmühlen-Erfindungen tritt häufig folgendes Prinzip auf: Um die Leistung eines Windrades von gegebenem Durchmesser bei gegebener Windgeschwindigkeit zu erhöhen, baut man es in der engsten Stelle eines zunächst verengten, dann wieder erweiterten Rohres, einer sog. Venturidüse, ein (Fig. 1), das mit seiner

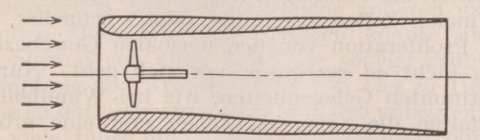


Fig. 1. Windrad in einer Venturidüse.

Achse in Richtung des Windstromes gestellt wird. An der engsten Stelle des Rohres strömt dann nämlich die Luft schneller als im ungestörten Winde, und man erhält infolgedessen eine erhöhte Leistung. Im Prinzip ist diese Überlegung auch richtig, aber die Wirkung wird gewöhnlich sehr stark überschätzt, indem folgende falsche Schlüsse gemacht werden: Es ist beobachtet, daß in Venturidüsen die Geschwindigkeit etwa doppelt so groß sein kann wie die des Windes, dem sie ausgesetzt sind; da nun die Leistung eines Windrades mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit wächst, so müßte man also mit einem Windrade, das an dieser Stelle angebracht ist, die 8fache Leistung erhalten. In Wirklichkeit kann man aber bei doppelter Durchflußgeschwindigkeit nur die doppelte Energie gewinnen, und außerdem ist die doppelte Geschwindigkeit an der engsten Stelle nur zu erreichen, wenn der Durchgang vollständig frei ist. Die Geschwindigkeit geht aber sehr stark zurück, sobald man an der engsten Stelle eine Energie entziehende Vorrichtung wie ein Windrad anbringt. Da über diese Verhältnisse offenbar vielfach Unklarheit herrscht, so sind vielleicht die folgenden Überlegungen hierüber manchem erwünscht.

1. Venturidüsen ohne Störung an der engsten Stelle.

Bevor wir auf die angeschnittene Frage iengehen, ist es zweckmäßig, zunächst die Verhältnisse ohne das Windrad zu betrachten. Wir stellen uns die Frage: Mit welcher Geschwindigkeit strömt die Luft durch den engsten Querschnitt bei einem Rohr von gegebenen Abmessungen? Wenn wir

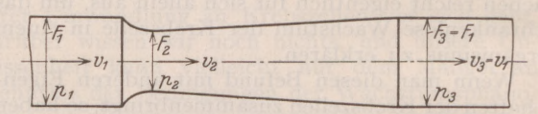


Fig. 2. Venturidüse in einer Rohrleitung.

eine Rohrleitung haben und darin an irgendeiner Stelle eine Verengung anbringen, so ist die Geschwindigkeit an der engsten Stelle einfach durch die Querschnittsverhältnisse gegeben. Wenn der Querschnitt des Rohres vor der Verengung F_1 und die mittlere Geschwindigkeit dort v_1 ist, so fließt durch die Leitung sekundlich die Menge $Q = F_1 v_1$. Diese Menge muß auch durch die Verengung fließen. Wenn dort der Querschnitt F_2 ist, so muß also

$$F_2 v_2 = Q = F_1 v_1$$

sein oder

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{F_1}{F_2}.$$

Wenn wir aber keine gegebene Rohrleitung haben, sondern nur unseren Körper mit der Verengung und Erweiterung, der dem freien Wind ausgesetzt ist, so ist zunächst durchaus unklar, wieviel Luft hindurchströmt, indem ja die Luft hier auch die Möglichkeit hat, außen herumzuströmen. Sie wird diesen Weg in um so stärkerem Maße wählen, je mehr Widerstand sie beim Durchströmen des Rohrstückes findet. Beim Durchgang durch eine Verengung, und hauptsächlich in der folgenden Erweiterung, erfährt nämlich die Luft einen Energieverlust, der sich in dem Falle der Rohrleitung

darin äußert, daß hinter dem Stück mit den Querschnittsänderungen der Druck niedriger ist als vorher. Bei Vorgängen ohne Energieverlust hängt der Druck eindeutig mit der Geschwindigkeit zusammen gemäß der sog. BERNOULLIschen Gleichung

$$p + \frac{\varrho}{2} v^2 = \text{konst.} \qquad (1)$$

(ϱ = Dichte der Luft). Beim Übergang vom weiten Querschnitt F_1 zum engen F_2 tritt auch kein nennenswerter Verlust ein. Man hat daher

$$p_1 - p_2 = \frac{\varrho}{2} (v_2^2 - v_1^2) \,. \qquad (2)$$

Der Druck sinkt von p_1 auf p_2, dafür steigt die Geschwindigkeit. Der Druck wird in Geschwindigkeit umgesetzt. In der folgenden Erweiterung wird nun wieder die Geschwindigkeit in Druck umgesetzt, aber erfahrungsgemäß nicht mehr verlustlos. Es geht dabei der Druck p' verloren

$$p_3 - p_2 = \frac{\varrho}{2} (v_2^2 - v_3^2) - p' \,. \qquad (3)$$

Da $F_3 = F_1$ und damit $v_3 = v_1$ ist[1], wird

$$p_3 - p_2 = p_1 - p_2 - p'$$
$$p_3 = p_1 - p' \,.$$

Um diesen Druckverlust klein zu halten, muß die Erweiterung langsam vor sich gehen (etwa wie in Fig. 1—3 dargestellt). Ganz vermeiden läßt er sich aber nicht. Man drückt nun die Güte einer solchen Erweiterung (Diffusor oder auch Saugrohr genannt) durch einen Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{p_3 - p_2}{\frac{\varrho}{2} (v_2^2 - v_3^2)} \qquad (4)$$

aus. Dieser gibt das Verhältnis der wirklich erreichten Drucksteigerung $p_3 - p_2$ zur theoretischen bei verlustloser Umsetzung

$$\frac{\varrho}{2} (v_2^2 - v_3^2)$$

an. Wir wollen ihn im folgenden kurz als Diffusorwirkungsgrad bezeichnen.

Die Durchflußmenge durch eine dem freien Luftstrom ausgesetzte Venturidüse hängt, wie wir bereits andeuteten, von dem Widerstand ab, den die Luft beim Durchströmen der Düse findet, also von dem Energieverlust, der dabei auftritt. Dieser ist aber durch den eben erläuterten Diffusorwirkungsgrad festgelegt. Wir wollen nun zusehen, ob wir die Durchflußmenge quantitativ in Zusammenhang mit dem Diffusorwirkungsgrad bringen können.

Die Venturidüse habe an der engsten Stelle den Querschnitt F_2, der Austrittsquerschnitt sei F_3. Mit F_1 wollen wir den Querschnitt bezeichnen, den die durch die Düse hindurchströmende Luft vor dem Eintritt in die Düse besitzt (Fig. 3).

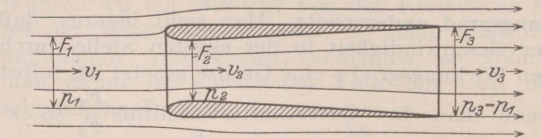


Fig. 3. Venturidüse im freien Luftstrom.

Bei der in einer Rohrleitung eingebauten Düse war $F_1 = F_3$ bzw. $v_1 = v_3$ durch die Abmessungen der Rohrleitung festgelegt. Der Energieverlust äußerte sich in einer Druckverminderung $p' = p_1 - p_3$. Bei der Düse im freien Luftstrom ist der Druck vor und hinter der Düse gleich

$$p_3 = p_1 \,,$$

da sich Druckdifferenzen außen um die Düse herum in sehr starkem Maße ausgleichen können[1]. Der Energieverlust äußert sich hier darin, daß die kinetische Energie der Strömung hinter der Düse kleiner ist als vorher

$$\frac{\varrho}{2} v_3^2 < \frac{\varrho}{2} v_1^2 \,.$$

Bezeichnen wir die Geschwindigkeit des ungestörten Windes vor der Düse mit v_1, die im engsten Querschnitt F_2 mit v_2, die im Austrittsquerschnitt F_3 mit v_3, so ist die Durchflußmenge

$$Q = F_1 v_1 = F_2 v_2 = F_3 v_3 {}^* \qquad (5)$$

Die Umsetzung der Geschwindigkeit in Druck beim Übergang von F_2 in F_3 erfolge mit dem Diffusorwirkungsgrad η. Dann ist

$$p_3 - p_2 = \eta \cdot \frac{\varrho}{2} (v_2^2 - v_3^2) = \eta \frac{\varrho}{2} v_2^2 \left[1 - \left(\frac{F_2}{F_3} \right)^2 \right] \qquad (6)$$

Der Zufluß bis zur engsten Stelle erfolgt nahezu verlustlos

$$p_1 - p_2 = \frac{\varrho}{2} (v_2^2 - v_1^2) = \frac{\varrho}{2} v_2^2 \left[1 - \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^2 \right] \qquad (7)$$

Da der Druck vor und hinter der Düse gleich ist

$$p_1 = p_3$$

sind in den beiden letzten Gleichungen die linken Seiten und damit auch die rechten gleich. Das ergibt

$$1 - \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^2 = \eta \left[1 - \left(\frac{F_2}{F_3} \right)^2 \right]$$
$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{1 - \eta \left[1 - \left(\frac{F_2}{F_3} \right)^2 \right]} \qquad (8)$$

[1] Wir setzen hier sowie in den folgenden Überlegungen voraus, daß v_3 über den ganzen Querschnitt konstant ist. In Wirklichkeit trifft das nicht zu: Die Geschwindigkeit ist am Rande des Rohres kleiner als an der Achse. Das Wesentliche der folgenden Rechnungen bleibt aber trotzdem bestehen.

[1] Bei sehr starkem Erweiterungswinkel des Diffusors trifft dies nicht mehr zu. Da herrscht hinter der Düse ein Unterdruck. Hier sollen jedoch nur Diffusoren mit schlanker Erweiterung betrachtet werden.

* Vgl. nebenstehende Fußnote [1]. Die ungleichmäßige Verteilung von v_3 hat quantitativ zur Folge, daß der Austrittsquerschnitt F_3 nicht voll ausgefüllt ist. Es besteht daher eine gewisse Unsicherheit über die Größe F_3. Im Endergebnis macht sich diese aber nur wenig bemerkbar.

Damit haben wir die gesuchte Beziehung zwischen der Durchflußgeschwindigkeit v_2 einerseits und den Abmessungen der Düse $\frac{F_2}{F_3}$ und ihrem Wirkungsgrad andererseits. Man sieht hieraus, daß der Geschwindigkeit in der engsten Stelle durch den Wirkungsgrad η eine Grenze gesetzt ist, selbst wenn man das Querschnittsverhältnis $\frac{F_2}{F_3}$ so extrem wie möglich macht. Für $\frac{F_2}{F_3} = 0$ ergibt sich

$$\left(\frac{v_2}{v_1}\right)_{\max} = \sqrt{\frac{1}{1-\eta}}. \qquad (9)$$

In Fig. 4 sind die Werte von $\frac{v_1}{v_2}$, die sich aus

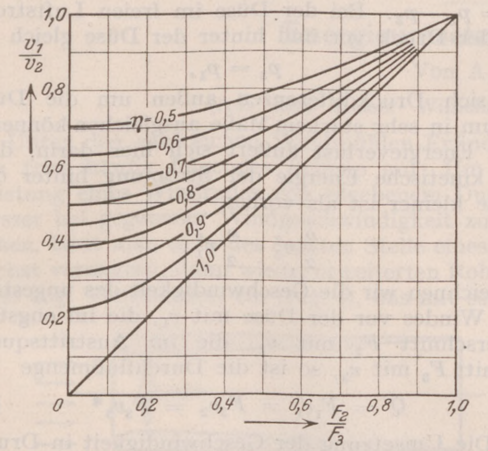


Fig. 4. Abhängigkeit der Durchflußgeschwindigkeit v_2 in der engsten Stelle der Venturidüse vom Querschnittsverhältnis $\frac{F_2}{F_3}$ des erweiterten Teiles und vom Wirkungsgrad η der Energieumsetzung in diesem Teil.

Gleichung (8) ergeben, für verschiedene Querschnittsverhältnisse und Wirkungsgrade dargestellt. Man ersieht aus dieser Überlegung, daß man selbst bei guten Düsen ($\eta = 0{,}75$ bis $0{,}85$) die Geschwindigkeit in der engsten Stelle nur auf etwa das $2-2^1/_2$fache steigern kann

$$\left(\frac{v_1}{v_2} = 0{,}4 \text{ bis } 0{,}5\right),$$

was auch durch die Erfahrung bestätigt wird.

Man benützt Venturidüsen vielfach zu Meßzwecken; und zwar sowohl die in eine Rohrleitung eingebaute Anordnung wie auch die dem freien Luftstrom ausgesetzte. Im ersteren Falle will man die Durchflußmenge $Q = v_2 F_2 = v_1 F_1$ durch Messung der Druckdifferenz $p_1 - p_2$ ermitteln. Nach Gleichung (2) ist

$$p_1 - p_2 = \frac{\varrho}{2}(v_2^2 - v_1^2) = \frac{\varrho}{2} v_2^2 \left[1 - \left(\frac{F_2}{F_1}\right)^2\right] = \frac{\varrho}{2} Q^2 \left(\frac{1}{F_2^2} - \frac{1}{F_1^2}\right), \qquad (10)$$

woraus sich Q leicht ausrechnen läßt, da ja die Querschnitte F_1 und F_2 gegebene Größen des Instrumentes sind. Da beim Übergang vom Querschnitt 1 zum Querschnitt 2 im allgemeinen nahezu keine Verluste auftreten, so ist Gleichung (10) sehr genau richtig, das Verfahren also ziemlich zuverlässig[1]. Mit der Venturidüse im freien Luftstrom will man durch Messung von $p_1 - p_2$ die Geschwindigkeit v_1 ermitteln:

$$p_1 - p_2 = \frac{\varrho}{2}(v_2^2 - v_1^2) = \frac{\varrho}{2} v_1^2 \left[\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 - 1\right] \qquad (11)$$

Um hieraus v_1 zu ermitteln, muß als Instrumentkonstante der Klammerausdruck $\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 - 1$ durch Eichung bestimmt werden. Wie wir oben sahen, hängt nun derselbe wesentlich vom Wirkungsgrad η des Diffusors ab (Gleichung [8]). Dieser ist aber selbst, besonders wenn er sehr hoch ist, von mancherlei Nebenumständen beeinflußt. Diese Art der Verwendung von Venturidüsen zur Geschwindigkeitsmessung in freier Luft ist daher prinzipiell nicht so zuverlässig wie die Mengenmessung im Rohr. Immerhin kann man den Wirkungsgrad des Diffusors und damit den Eichfaktor des Instrumentes wenigstens einigermaßen konstant bekommen, wenn man darauf verzichtet, extrem hohe Wirkungsgrade zu verwenden. Um größere Druckdifferenzen $p_1 - p_2$ zu erhalten, verwendet man vielfach zusammengesetzte Venturidüsen (Fig. 5). In der äußeren (größeren) Düse

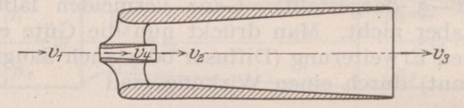


Fig. 5. Doppelte Venturidüse für Geschwindigkeitsmessung.

möge z. B. die Geschwindigkeit im engsten Querschnitt v_2 das doppelte der Windgeschwindigkeit v_1 betragen. Der Druck an dieser Stelle ist dann

$$p_2 = p_1 + \frac{\varrho}{2} v_1^2 - \frac{\varrho}{2} v_2^2 = p_1 - 3\frac{\varrho}{2} v_1^2 .$$

Ordnet man nun eine zweite kleinere Düse so an, daß ihr Austrittsquerschnitt im Gebiete dieses niedrigeren Druckes liegt, so erhält man an der engsten Stelle dieser zweiten Düse noch eine wei-

[1] Fehlerquellen bestehen hauptsächlich darin, daß die Geschwindigkeit v_1 meist nicht über den ganzen Querschnitt konstant ist, und weiterhin, daß die Flüssigkeit außerdem eine drehende Bewegung im Rohr ausführt. Den ersteren Einfluß kann man kleinhalten, wenn man das Querschnittsverhältnis $\frac{F_2}{F_1}$ genügend klein wählt. Der zweiten Fehlerquelle begegnet man dadurch, daß man vor die Meßstelle gitterförmige Leitbleche anordnet, welche die Strömung einigermaßen parallel richten. Auch die Geschwindigkeit v_2 ist nicht genau bis an den Rand konstant. Dies macht sich hauptsächlich bei kleinen Düsen oder kleinen Geschwindigkeiten oder zähen Flüssigkeiten geltend, kann aber auch durch ungeeignete Formgebung des Düseneinlaufes verstärkt werden und zu merklichen Fehlern führen.

tere Geschwindigkeitssteigerung (v_4) auf etwa das 4fache der Windgeschwindigkeit und eine entsprechende Druckerniedrigung. Man kann dies Verfahren fortsetzen und erhält mit jeder neuen Einsatzdüse ungefähr eine weitere Verdoppelung der Geschwindigkeit.

2. *Einfluß einer Energieentnahme an der engsten Stelle einer Venturidüse.*

Ordnet man an der engsten Stelle einer Venturidüse ein Windrad an, welches der Luft Energie entzieht, so hat das natürlich zur Folge, daß die Luft noch mehr Widerstand beim Durchströmen findet und in noch stärkerem Maße außen herum strömt. Wir können zur Beurteilung dieses Einflusses genau die gleichen Überlegungen wie im 1. Abschnitt anstellen, müssen nur außer dem Energieverlust im Diffusor, der sich durch seinen Wirkungsgrad ausdrückt, auch noch die künstliche Energieentziehung mit berücksichtigen. Bezeichnen wir die Energie, welche wir sekundlich der Luft mit dem Windrade entziehen, mit E, dann sinkt der Druck von seinem Werte p_2 vor dem Windrad auf den Wert p_2' hinter dem Windrad. Dabei ist

$$F_2(p_2 - p_2')\, v_2 = E$$

$$p_2 - p_2' = \frac{E}{v_2 F_2} = \frac{E}{Q}. \qquad (12)$$

Für den Zufluß vor dem Windrad erhalten wir wie früher [Gleichung (7)]

$$p_1 - p_2 = \frac{\varrho}{2}(v_2^2 - v_1^2) = \frac{\varrho}{2} v_2^2 \left[1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2\right]$$

Für den Abfluß hinter dem Rade ist

$$p_3 - p_2' = p_1 - p_2' = \eta \frac{\varrho}{2}(v_2^2 - v_3^2) = \frac{\varrho}{2} v_2^2\, \eta \left[1 - \left(\frac{F_3}{F_2}\right)^2\right] \qquad (13)$$

Durch Subtraktion der beiden letzten Gleichungen ergibt sich

$$p_2 - p_2' = \frac{E}{Q} = \frac{\varrho}{2} v_2^2 \left[\eta\left(1 - \left(\frac{F_3}{F_2}\right)^2\right) - \left(1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2\right)\right] \qquad (14)$$

Bezeichnen wir das Geschwindigkeitsverhältnis $\frac{v_1}{v_2}$ für die Venturidüse ohne Störung mit $\left(\frac{v_1}{v_2}\right)_0$, so ist gemäß den früheren Überlegungen [Gleichung (8)]

$$\eta\left[1 - \left(\frac{F_3}{F_2}\right)^2\right] = 1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)_0^2.$$

Damit erhalten wir

$$\frac{E}{\frac{\varrho}{2} F_2 v_1^3} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^3 \left[\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)_0^2\right]. \qquad (15)$$

Dieser Ausdruck erreicht bei gegebener Venturidüse, d. i. bei gegebenem $\left(\frac{v_1}{v_2}\right)_0$ jeweils ein Maximum, wenn

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{3}\left(\frac{v_1}{v_2}\right)_0$$

ist. Die Energie, welche dann der Luft entzogen wird, ist

$$E = \frac{\varrho}{2} F_2 v_1^3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_1}\right)_0 \frac{2}{3\sqrt{3}} \qquad (16)$$

Würden wir ein Windrad von der Kreisfläche F_2 bei der Windgeschwindigkeit v_1 allein ohne die umhüllende Venturidüse verwenden, so könnte man damit im günstigsten Falle der Luft die sekundliche Energie

$$E_0 = \frac{\varrho}{2} F_2 v_1^3 \cdot \frac{16}{27} \qquad (17)$$

entziehen[1]. Die Verbesserung, welche die Venturidüse bewirkt, drückt sich demnach aus durch das Verhältnis

$$\frac{E}{E_0} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)_0 \cdot \frac{2}{3\sqrt{3}} \cdot \frac{27}{16} = \frac{9}{8\sqrt{3}}\left(\frac{v_2}{v_1}\right)_0 \approx 0{,}65\left(\frac{v_2}{v_1}\right)_0 \qquad (18)$$

Die Abhängigkeit von $\left(\frac{v_2}{v_1}\right)_0$ bzw. $\left(\frac{v_1}{v_2}\right)_0$ von den Querschnittsverhältnissen und dem Wirkungsgrad der Venturidüse hatten wir bereits in Fig. 4 kennen-

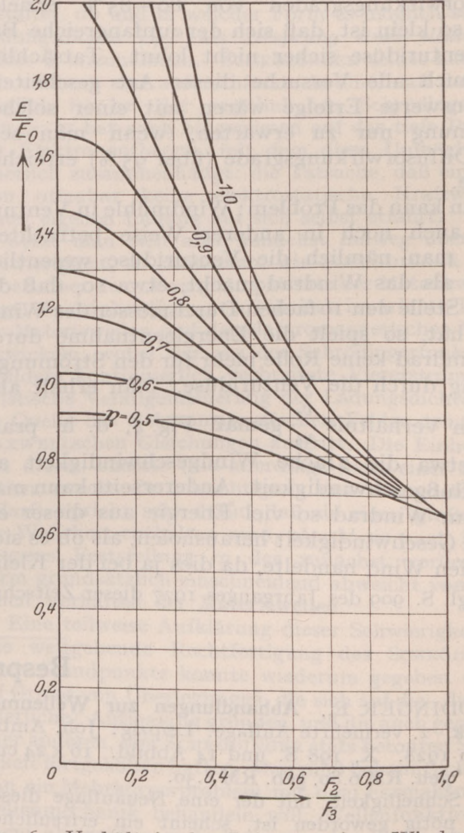


Fig. 6. Verhältnis der Leistung eines Windrades in einer Venturidüse zu der eines gleichgroßen freien Windrades abhängig vom Querschnittsverhältnis $\frac{F_2}{F_3}$ des erweiterten Teiles der Düse und vom Wirkungsgrad η der Energieumsetzung in diesem Teil.

[1] Vgl. S. 911 des Jahrganges 1927 dieser Zeitschr.

gelernt. Wir brauchen nur die reziproken Ordinaten dieser Abbildung mit 0,65 zu multiplizieren, um den Leistungsgewinn bei Anwendung der Venturidüse bei Windmühlen darzustellen. Dies ist in Fig. 6 geschehen.

Beim Betrachten dieses Ergebnisses wird man vielleicht zunächst erstaunt sein, daß man für $\frac{F_2}{F_3} = 1$, d. h. wenn man das Windrad mit einem zylindrischen Rohr umgibt, weniger Leistung gewinnen kann als mit dem freien Windrad. Dies erklärt sich aber folgendermaßen: Wenn man mit einem Windrad der Luft Energie entzieht, so nimmt die Geschwindigkeit ab. In dem gleichen Maße nimmt aber der von dem Luftstrom benötigte Querschnitt zu; der Luftstrom breitet sich beim Durchgang durch das Windrad aus[1]. Diese Ausbreitung wird durch den umgebenden Zylinder erschwert, und daher rührt die verminderte Leistung.

Weiterhin ersieht man aus diesen Ergebnissen, daß der Gewinn, den man bei den erreichbaren Diffusorwirkungsgraden von 80—85% erzielen kann, so klein ist, daß sich der umfangreiche Bau der Venturidüse sicher nicht lohnt. Tatsächlich sind auch alle Versuche dieser Art gescheitert. Nennenswerte Erfolge wären mit einer solchen Anordnung nur zu erwarten, wenn man sehr hohe Diffusorwirkungsgrade (über 95%) erreichen könnte.

Man kann das Problem: Windmühle in Venturidüse, auch noch in anderer Weise betrachten. Wenn man nämlich die Venturidüse wesentlich größer als das Windrad macht, etwa so, daß die engste Stelle den 10fachen Durchmesser des Windrades hat, so spielt die Energieentnahme durch das Windrad keine Rolle mehr für den Strömungsvorgang durch die Venturidüse. Man erhält also hier ein Verhältnis $\frac{v_1}{v_2}$ gemäß Fig. 4, d. h. praktisch etwa die 2fache Windgeschwindigkeit als Durchflußgeschwindigkeit. Andererseits kann man mit dem Windrad so viel Energie aus dieser erhöhten Geschwindigkeit herausholen, als ob es sich um freien Wind handelte, da dies ja bei der Kleinheit der Windmühle immer noch ein verschwindender Betrag gegenüber den in der Düse umgesetzten Energiemengen ist. Da die Leistung eines Windrades der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit proportional ist, so erhält man mit einer solchen Anordnung bei doppelter Durchflußgeschwindigkeit tatsächlich die 8fache Leistung. Praktisch kommt der Bau einer solchen Anordnung allerdings auch kaum in Frage, da die Kosten einer derartig großen Venturidüse viel zu hoch sind. Etwas anderes ist es, wenn eine solche Riesenventuridüse von der Natur gegeben ist. Die bei unseren Überlegungen angenommene ideale Form einer Venturidüse wird zwar in der Natur kaum vorkommen, aber in gewissem Maße treffen die Vorgänge in einer Venturidüse auch bei der Windströmung über einen Bergrücken zu. Die Stromlinien des Windes, der quer zu dem Rücken weht, werden zusammengedrängt, die Geschwindigkeit steigt und hinter dem Berg wird diese Geschwindigkeit wieder teilweise in Druck umgesetzt. Der Wirkungsgrad dieser letzteren Umsetzung ist bei den unregelmäßigen Formen des Geländes meist nicht gerade hoch. Infolgedessen ist auch die erreichte Geschwindigkeitssteigerung nur mäßig. Aber wegen der großen Ausdehnung des Gebietes erhöhter Geschwindigkeit kann man diese Geschwindigkeitssteigerung durch eine Windmühle voll ausnützen, ohne die Strömung über den Berg nennenswert zu stören, d. h. man kann hier eine Leistung herausholen, welche der dritten Potenz der Geschwindigkeit proportional ist. Man wird sich vielleicht fragen, was mit der Luft, die in einem solchen Falle durch die Windmühle gegangen ist, weiterhin vor sich geht. Man hat ihr so viel Energie entzogen, daß sie nicht mehr imstande ist, den Vorgang der Umsetzung von kinetischer Energie in Druck hinter dem Berg mitzumachen, da ihre kinetische Energie ja durch die starke Energieentnahme viel zu klein geworden ist. In Wirklichkeit ist es nun so, daß dieser verhältnismäßig kleinen Luftmenge von den Nachbarschichten her durch Mischungsvorgänge wieder Energie zugeführt wird. Das Energiemanko verteilt sich also mehr oder weniger stark auf die übrige Luftströmung, für welche sie hinreichend geringfügig ist.

[1] Vgl. S. 909 des Jahrganges 1927 dieser Zeitschr., Fig. 7.

Besprechungen.

SCHRÖDINGER E., **Abhandlungen zur Wellenmechanik.** 2. vermehrte Auflage. Leipzig: Joh. Ambr. Barth 1928. X, 198 S. und 14 Abbild. 16×24 cm. Preis geh. RM 6.80, geb. RM 8.30.

Die Schnelligkeit, mit der eine Neuauflage dieses Buches nötig geworden ist, scheint ein erfreuliches Zeichen für die lebhafte und ernste Anteilnahme, die von weiteren Kreisen der neuesten Entwicklung der Quantentheorie gewidmet wird. Die SCHRÖDINGERschen Abhandlungen, die nicht nur inhaltlich so grundlegende Beiträge zu dieser Entwicklung geliefert haben, sondern auch durch die Form der Darstellung zu den klarsten und lesbarsten quantentheoretischen Abhandlungen der letzten Zeit gehören, sind in der Tat besonders geeignet, diese Anteilnahme zu beleben.

Die neue Auflage enthält neben dem Inhalt der ersten noch drei weitere Abhandlungen, die SCHRÖDINGER in der Zwischenzeit veröffentlicht hat: „Über den Comptoneffekt"; „Der Energieimpulssatz der Materiewellen"; „Energieaustausch nach der Wellenmechanik".

Bei der Besprechung der ersten Auflage habe ich es für wichtig gehalten, die Unterschiede der grundsätzlichen Auffassung deutlich zu machen, welche zwischen der SCHRÖDINGERschen und der „diskontinuierlichen" Richtung der Quantenmechanik bestanden. Es wird deshalb nicht unangebracht sein, wenn ich bei der

jetzigen Gelegenheit diejenigen in letzter Zeit hervorgetretenen Punkte besonders zu beleuchten suche, welche eine Konvergenz dieser beiden Richtungen einzuleiten scheinen: die neueste Entwicklung hat in der Tat auf einen in gewissem Sinne vermittelnden Standpunkt hingeführt, der wohl als eine Verschmelzung der berechtigten Seiten *beider* Auffassungen bezeichnet werden darf. Freilich muß ich, um diese Verhältnisse darlegen zu können, um die Erlaubnis bitten, etwas weiter ausholen zu dürfen.

Halten wir uns zunächst an das quantenmechanische Problem der Bewegung *eines einzigen* Elektrons — etwa im Wasserstoffatom —, so konnte zur Zeit des Erscheinens der ersten Auflage der Unterschied der beiden Auffassungen bekanntlich so erläutert werden: der quadrierte Absolutwert $|\psi(x, y, z)|^2$ der SCHRÖDINGERschen Wellenfunktion sollte nach SCHRÖDINGER als wirkliche, kontinuierlich verbreitete *Elektrizitätsdichte* gedeutet werden. Nach der diskontinuierlichen Auffassung dagegen bedeutete er die *Wahrscheinlichkeit* für das Auftreten des Elektrons an einem Orte; diese von BORN und PAULI begründete Deutung von ψ ist im Einklang mit der Transformationstheorie der Quantenmechanik (DIRAC-JORDAN), welche die SCHRÖDINGERsche Funktion auffaßt als Sonderfall allgemeinerer „Wahrscheinlichkeitsamplituden", die für das ganze physikalische Verhalten des Elektrons maßgebend sind.

Beide Deutungen von ψ liefern aber in der soeben angegebenen Form zunächst natürlich nicht viel mehr als *Bezeichnungen*; sie gewinnen einen wirklichen physikalischen Inhalt erst durch weitere Präzisierung. SCHRÖDINGER hat seine „Dichtehypothese" vor allem durch zwei anschließende Hypothesen zur experimentellen Erfahrung in Beziehung gesetzt:

1. Die Hypothese der Wellenpakete.
2. Die Hypothese einer Verknüpfung der elektrischen Ladungsdichte $|\psi|^2$ mit den elektromagnetischen Feldstärken $\mathfrak{E}, \mathfrak{H}$ entsprechend den MAXWELLschen Gleichungen.

Die erstgenannte Hypothese enthielt einen Versuch, die *corpusculare* Seite in der Erscheinung der Materie zu verstehen, ohne die Grundlage einer rein klassisch durchgeführten Wellentheorie zu verlassen: SCHRÖDINGER nahm an, daß ein aus der ψ-Amplitude gebildetes „Wellenpaket" ein corpusculares Elektron darstelle. Es ist jedoch bekanntlich nicht gelungen, die Schwierigkeiten zu überwinden, welche der Durchführung dieser Annahme im Wege stehen, und die sich beispielsweise schon darin zeigen, daß ein solches Wellenpaket (von besonderen Ausnahmefällen abgesehen) nicht zusammenhält, sondern mit der Zeit auseinanderläuft.

Trotzdem haben sich diese Wellenpakete in etwas anderer Beziehung als eine ganz grundlegende und ganz unentbehrliche Vorstellung erwiesen. Wenn wir nämlich die oben berührte statistische Deutung der Schrödingerwellen näher präzisieren wollen, so muß das nach HEISENBERG so geschehen: Es sind Experimente denkbar, bei denen wir ein Elektron an einem (mit beliebiger Genauigkeit) bestimmten Orte finden. Zum Beispiel können wir das Elektron „besehen" mit einem γ-Strahlmikroskop. Hat nun ein gewisser physikalischer Zustand eine Schrödingerfunktion $\psi(x, y, z)$, so liefert $|\psi(x, y, z)|^2$ eben die Wahrscheinlichkeit dafür, daß *bei Ausführung eines solchen Experiments* das Elektron an der Stelle x, y, z gefunden wird. Wir wollen nun den Ort des Elektrons *zweimal* hintereinander in sehr kurzem Zeitabstande messen. Dann ist es sehr unwahrscheinlich, daß bei der zweiten Messung das Teilchen weit entfernt ist von dem zuerst gemessenen Orte; und das heißt: die Wahrscheinlichkeit $|\psi(x, y, z)|^2$, die der zweiten Messung zugrunde liegt, muß wie ein SCHRÖDINGERsches Wellenpaket auf einen ganz kleinen Raumbereich zusammengedrängt sein. Das Wellenpaket wird also hier in ein „Wahrscheinlichkeitspaket" umgedeutet; und nun zeigt sich, daß diejenigen Eigenschaften der Wellenpakete, welche Hindernisse für ihre früher angestrebte Verwendung bildeten, sich der neuen Auffassung ganz naturgemäß einordnen. Damit hat sich das Wellenpaket in abgeänderter physikalischer Deutung als unentbehrlich zur Durchführung der diskontinuierlichen Auffassung der Quantenmechanik erwiesen.

Diese Gedankengänge sind dann von BOHR in einem Aufsatz in dieser Zeitschrift wesentlich vertieft und erweitert worden. Man kann wirklich, wie BOHR ausführlich dargelegt hat, in sehr weitem Maße die Quantenmechanik eines einzelnen Elektrons der Anschauung näherbringen, indem man den Wellenbegriff verwendet in einer Weise, die der ursprünglichen SCHRÖDINGERschen Betrachtungsweise sehr nahesteht, die aber in ganz charakteristischer Weise immer wieder auf die Unstetigkeiten des quantenmechanischen Geschehens Rücksicht nimmt.

Schwieriger hat sich die Beantwortung der Frage gestaltet, ob und in welcher Form es möglich sei, eine Ladungsdichte $|\psi|^2$ als *Ursprung eines elektrischen Feldes* $\mathfrak{E}$ anzunehmen. SCHRÖDINGER selbst hat deutlich erkannt und aufs schärfste betont, daß das *nicht* möglich ist bei der gewöhnlichen Schrödingerfunktion ψ; er hat auch hingewiesen auf das tiefe Problem der Elektronentheorie, mit dem diese Unmöglichkeit innerlich zusammenhängt: die Tatsache, daß ein Elektron offenbar keine elektrostatische Kraftwirkung seiner eigenen Ladung auf sich selbst erfährt.

Setzt man sich aber zunächst hinweg über diese Schwierigkeit, so kann man, wie SCHRÖDINGER in der Arbeit über den „Energieimpulssatz der Materiewellen" zeigt, eine einheitliche, relativistisch invariante Theorie der Materiewellen und der elektromagnetischen Wellen entwickeln, wobei der aus der Schrödingerfunktion ψ gebildete kontinuierlich verbreitete Viererstrom (relativistische Verallgemeinerung der Ladungsdichte $|\psi|^2$) als Quelle des elektromagnetischen Feldes gemäß den MAXWELLschen Gleichungen auftritt. Die Einheitlichkeit dieser Theorie (die allerdings noch einer Modifikation zwecks Berücksichtigung des Magnetelektrons bedarf), spricht sehr dafür, daß sie einen großen Teil der Wahrheit enthalten muß, *obwohl* sie nach SCHRÖDINGERS Feststellung in der zunächst vorliegenden Form grundsätzlich einschneidend abweicht vom wirklichen Verhalten der Materiewellen.

Eine teilweise Aufklärung dieser Schwierigkeit und eine weitgehende Rechtfertigung des SCHRÖDINGERschen Standpunkts konnte wiederum gegeben werden auf Grund von Überlegungen, die sich auf die „diskontinuierliche" Auffassung gründen, und die auch gegenüber einer anderen, von SCHRÖDINGER stets betonten Schwierigkeit fortgeholfen hatten. Man muß bekanntlich, wenn man ein Mehrkörperproblem mit dem Formalismus der Wellenmechanik behandeln will, Wellenfunktionen in einem abstrakten mehrdimensionalen Raume betrachten; der anschauliche Anschluß an den gewöhnlichen dreidimensionalen Raum geht hier verloren. Es gibt aber einen anderen Weg, zu einer Theorie des Mehrkörperproblems zu gelangen, bei dem man daran festhält, die Materiewellen als Wellen im dreidimensionalen Raume zu deuten; man muß sich dann nur entschließen, die Wellenamplitude ψ selber als eine quantenmechanische Größe, also nicht als „c-Zahl", sondern als *Matrixgröße*

anzunehmen. Dabei gelingt dann auch eine weitgehende Beseitigung der Schwierigkeiten, die es in der ursprünglichen Auffassung unmöglich machten, $|\psi|^2$ als kontinuierlich verbreitete Quelle der elektrischen Kraft anzusehen.

Feilich ist es noch nicht gelungen, das SCHRÖDINGERsche Programm, die Wechselwirkungen von Licht und Materie unmittelbar als Wechselwirkungen der ψ- und $\mathfrak{E}$, $\mathfrak{H}$-Wellen darzustellen, vollständig durchzuführen; die Ansätze, die hierzu gemacht wurden, konnten einstweilen noch nicht relativistisch invariant formuliert werden. Trotz schwieriger noch ungeklärter Fragen wird jedoch heute kaum noch ein Zweifel möglich sein einerseits an der tiefen Bedeutsamkeit des von SCHRÖDINGER in seiner Arbeit über den Energie-Impulssatz vorgezeichneten Weges zur einheitlichen Beschreibung von Licht und Materie durch die Wellenvorstellung, und andererseits an der Unmöglichkeit, diesen Weg zu verfolgen, ohne daß man — über SCHRÖDINGER hinausgehend — die charakteristisch quantenmechanischen Begriffe durch eine Quantelung der Wellenfelder einführt.

So haben sich aus den Aufgaben und Fragen, die im Laufe der letzten ein bis zwei Jahre im Mittelpunkte der quantentheoretischen Grundlagenforschung standen, Theorien entwickelt, in denen wesentliche Züge der SCHRÖDINGERschen Gedankengänge einerseits und der ,,diskontinuierlichen" Auffassung andererseits zu einer unauflöslichen Einheit zusammengewachsen sind.

P. JORDAN, Hamburg.

MOHR, O., **Abhandlungen aus dem Gebiete der Technischen Mechanik.** 3. erweiterte Auflage. Zur Jahrhundertfeier der Technischen Hochschule Dresden herausgegeben von K. BEYER und H. SPANGENBERG. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn. Preis geh. RM 30.—, geb. RM 33.—.

Kein schöneres und würdigeres Zeichen für ihre Bedeutung hätte die Technische Hochschule Dresden anläßlich ihrer Jahrhundertfeier wählen können, als die Neuherausgabe der Abhandlungen des jahrzehntelang an ihr wirkenden Altmeisters der technischen Mechanik, OTTO MOHR. Mit genialer Intuition hat dieser wie kaum ein zweiter die sachlichen und methodischen Bedürfnisse seines Gegenstandes erfaßt und dank seiner Veranlagung auch für die meisten von ihnen Lösungen in geeigneter Form geben können. Die von ihm gefundenen Ergebnisse sind längst Gemeingut aller wissenschaftlich arbeitenden Ingenieure geworden und haben seine Wissenschaft um ein mächtiges Stück vorwärts gebracht. Geschmückt mit dem Bilde des Denkmals OTTO MOHRS in der Technischen Hochschule Dresden wird sein einzigartiges Lebenswerk in neuer und teilweise erweiterter Bearbeitung dargeboten, abschnittweise durch sorgfältige Literaturnachweise und Zusätze ergänzt, die am besten zeigen, wie stark der Einfluß war und ist, der von ihm als dem ersten Klassiker der technischen Mechanik ausging. Der Inhalt ist gegenüber den früheren Auflagen durch zwei seither erschienene Abhandlungen bereichert worden: XIIa. Die Theorie des statisch unbestimmten Fachwerkes und XIIIa. Beitrag zur Berechnung der Rahmenträger. Viele der von ihm aufgeworfenen Fragestellungen zeigen von dem weit vorausschauenden Blick für die Aufgaben der technisch-wissenschaftlichen Forschung. Eine ganz besondere Bedeutung kommt der Abhandlung V. zu mit dem Titel: Welche Umstände bedingen die Elastizitätsgrenze und den Bruch des Materials, die aus den Jahren 1882 bzw. 1900 stammt und die vor allem wegen der völlig neuen Auffassung und der dem Wesen des Problems angepaßten Darstellung noch heute den Ausgangspunkt aller einschlägigen Untersuchungen bildet. In den Zusätzen heißt es bedeutungsvoll: ,,Die Arbeit O. MOHRS hat hier die Herrschaft der Empirie gebrochen und damit für die Festigkeitslehre grundlegende Bedeutung gewonnen." Nach langen Erörterungen, hervorgerufen durch die neueren, in den letzten Jahren zur Klärung des Sachverhaltes angestellten Versuche, bricht sich neuestens der ursprüngliche Gedanke MOHRS, den besonderen molekularen Aufbau eines jeden Werkstoffes durch eine Grenzkurve zu erfassen, wiederum Bahn, so daß dadurch eine völlig befriedigende Kennzeichnung des Grenzzustandes zwischen dem elastischen und plastischen Bereiche gewonnen zu sein scheint.

T. PÖSCHL, Karlsruhe i. B.

Jahresbericht V der Chemisch-Technischen Reichsanstalt 1926. Berlin: Verlag Chemie G. m. b. H. XI, 324 S. 104 Abbild. und 6 Taf. 16×23 cm. Preis RM 19.—.

Bei der Anzeige von Jahresbericht IV der Chemisch-Technischen Reichsanstalt (Naturwissenschaften 15, 688. 1927) wurden einige Mitteilungen über deren Organisation und Arbeitsgebiete gemacht. — Der Jahresbericht V bringt in mustergültiger Klarheit, unterstützt von zahlreichen Abbildungen, eine knappe, für weite Kreise verständliche Übersicht über die Arbeiten des Jahres 1926, die zum Teil ältere Untersuchungen fortsetzen, zum Teil neue Gebiete erschließen. Der vielseitige Inhalt dieses Bandes, soweit er Physiker und Chemiker angeht, möge durch einige Stichworte gekennzeichnet werden: Zersetzung des Acetylens bei verschiedenen Temperaturen, Drucken und Feuchtigkeitsgraden unter Verwendung verschiedener Initialzündungen; Prüfung von Handfeuerlöschverfahren unter besonderer Berücksichtigung der pyrogenen Zersetzungsprodukte der Löschmittel (CCl_4); Verhalten von Triolin und Linoleum unter der Einwirkung von Wärme und Feuer; Transport- und Handhabungssicherheit von Blausäure; Selbstenzündlichkeit von Phosphoreisen; Handhabungs- und Transportsicherheit von Sprengstoffen; Selbstzersetzung und Explosion von Wasserstoffperoxyd, Chlorkalk und Calciumhypochlorit; Sprengstoffe (Prüfungsmethoden und allgemeine wissenschaftlich-technische Untersuchungen); Elektrochemische Arbeiten zur Metallkorrosion; Metallschutz durch metallische Überzüge; Untersuchungen von Anstrichmitteln und Anstrichen; Untersuchungen von Zinkweiß-, Bleiweiß- und Lithoponeanstrichen; Arbeiten über Zinksulfid; Methoden für die Prüfung von Anstrichstoffen; Untersuchung elektrischer Zünder; Schutz von Tankanlagen für brennbare Flüssigkeiten.

Ein Sachregister würde die Benutzung des Werkes erleichtern.

I. KOPPEL, Berlin-Pankow.

Deutsche Meteorologische Gesellschaft
(Berliner Zweigverein).

In der Sitzung am 11. Dezember 1928 sprach Herr Regierungsrat Dr. R. BENCKENDORFF über das Thema: **Meteorologisches von der Amerikafahrt des L. Z. 127.**

Einleitend betonte der Vortragende, daß die Beobachtungsmöglichkeit von der Gondel aus nicht übermäßig gut ist, da der Körper des Luftschiffes einen wesentlichen Teil des Himmels verdeckt. Vom Führerraum ist nur etwa noch die Hälfte des Himmels zu überblicken, vom Navigationsraum aus ist Sicht nach beiden Seiten nur bis rund 40° Höhe möglich. Das mitgeteilte Be-

obachtungsmaterial beschränkte sich auf Tagebuchnotizen und auf die von der Schiffsführung angestellten Temperaturbeobachtungen.

Die allgemeine Wetterlage, die in großen Zügen erörtert wurde, zeigte am 11. Oktober, dem Tage der Abfahrt, eine außerordentlich heftige Westwindströmung, die zu einer westlich von Irland liegenden Depression gehörte und bis 44° Breite herabreichte. An der Neufundlandküste hatte sich gleichzeitig eine weitere Depression entwickelt, mit deren Verstärkung zu rechnen war. Ein Hochdruckgebiet mit schwächerer Luftbewegung zog sich von der spanischen Küste bis über die Azoren nach Westen. Bei dieser Wetterlage konnte sich die Luftschiffführung nur für die südliche Route entschließen. Die Witterung auf dieser war dann durch die Entwicklung der Neufundlandzyklone beherrscht. Die auf ihrer Rückseite vorstoßenden Kaltluftstaffeln bedingten eine verstärkte Böentätigkeit. Die Wetterkarte vom 13. Oktober 1 Uhr Greenwicher Zeit zeigte auf der Südseite der Neufundlandzyklone einen Tiefdruckausläufer, der starke Westwinde weit nach Süden ausgreifen ließ. Beim Passieren der damit verbundenen stark entwickelten Bö trat bei plötzlichen Vertikalbewegungen des Schiffes die bekannte Beschädigung an der Stabilisierungsfläche ein. Bei Annäherung an die Bermudainseln besserte sich zwar das Wetter unter dem Einfluß des von der genannten Inselgruppe bis zum amerikanischen Festland reichenden Hochdruckgebietes, aber auch am 14. griff die Westwindzone noch weit nach Süden aus, und Kaltluftstaffeln mit erneuten Böen zwangen die Führung des Schiffes zu vorsichtiger Navigierung. Erst der allerletzte Teil der Fahrt längs der amerikanischen Küste brachte günstigere Winde und damit auch eine größere Fahrtgeschwindigkeit, da sich das auf der Rückseite der Neufundlandzyklone entwickelnde Hoch schnell ostwärts verlagerte und das Luftschiff die auf seiner Westseite wehenden südlichen Winde ausnutzen konnte. Zusammenfassend erklärte der Vortragende, daß es nicht empfehlenswert gewesen wäre, den Start noch weiter zu verschieben, denn ein späterer Start hätte noch ungünstigere Verhältnisse gebracht.

Auch bei der am 29. Oktober 2 Uhr nachts amerikanischer Zeit angetretenen Rückfahrt spielte ein Tief, das sich an der Küste von Labrador entwickelte, eine große Rolle. Noch am gleichen Tage mußte das Schiff einen bis nach Neuschottland herabreichenden Ausläufer mit einem Teiltief durchstoßen. Außergewöhnlich starke südliche Winde bewirkten hier eine erhebliche Nordversetzung. Erst mit dem Eintritt in das Gebiet eines über dem mittleren Nordatlantik liegenden Hochs, das am 30. Oktober 1 Uhr Greenwicher Zeit erreicht wurde, kam das Schiff unter günstigere Strömungsverhältnisse, die ihm auch, abgesehen von einigen vorübergehenden Wetterverschlechterungen in Böen, für die ganze Rückfahrt treu blieben.

In ausführlicher Weise berichtete dann der Vortragende über seine persönlichen Eindrücke. Nachdem schlechte Wettermeldungen vom Atlantik den Start bis auf 8 Uhr vormittags des 11. Oktober verzögert hatten, und auch keine Aussicht auf Besserung bestand, entschloß sich Dr. Eckener zum Umweg über Spanien. Die in der Gegend von Montbéliard aufgenommenen Wettermeldungen enthielten auch noch ungünstige Nachrichten von den Azoren und veranlaßten wohl den noch größeren Umweg über das Rhonetal. Die zu erwartende stärkere Bewölkung über den Gebirgen mag dabei auch mitbestimmend gewesen sein. Am 12. Oktober 5 Uhr 30 Minuten vormittags war bei vollkommen klarer Luft Gibraltar erreicht. Trotz der kräftig entwickelten Cumulusbewölkung, das Zeichen starken Auftriebes, lag das Schiff fast ganz ruhig in der Luft. Die Fahrt über dem Ozean ging zunächst im Passatgebiet mit seiner typischen Bewölkung vor sich. Die Fahrthöhe betrug rund 1100 m und lag über der Bewölkung, die sich vor Madeira schnell auflöste. Um 3 Uhr nachmittags war Madeira erreicht, und nun wurde genau nach Westen gesteuert. Vorübergehend trat um 6—7 Uhr wieder Verstärkung der Bewölkung (str-cu) auf, doch war diese bereits nach Sonnenuntergang wieder verschwunden, und die Nacht war sternenklar. Aufgefangene Schiffsmeldungen gaben schon Südwestströmung an.

Am 13. Oktober zeigten sich die ersten Anzeichen eines Wetterumschwunges um 2 Uhr vormittags in Form von Wetterleuchten im Nordwesten. Die Südwestströmung hatte auch eine um 2—3° niedrigere Temperatur. Wettermeldungen ließen erkennen, daß diese Strömung aber nicht sehr breit war, sondern von einem Windsprung auf Nordwest abgelöst wurde. Um 4 Uhr war stärkere Bewölkung zu erkennen. Sie kam um 7 Uhr 45 Minuten schnell auf (ci-str mit cu-ni vermutlich bis 3000 m). Eine halbe Stunde später tauchte das Schiff in diese Wolkenwand ein, die ganz den Eindruck einer Bö machte. Die in ihr vorhandenen Vertikalbewegungen hoben die Spitze des Schiffes unter einem Winkel von 10° an, drückten sie dann nach unten, worauf wieder die Horizontallage eingenommen wurde. „An einen Unfall dachte kein Mensch", sagte der Vortragende, „obgleich sämtliches Geschirr von den Tischen abrutschte. Nach 5 Minuten war alles vorbei." Erst nach $^3/_4$ Stunden gab Dr. Eckener den Schaden an der Stabilisierungsfläche bekannt. Die in den Zeitungen verbreitete Nachricht von einer Katastrophenstimmung stimmt nicht. Auch nach dem Unfall blieb alles ruhig. Um die obere Stabilisierungsfläche nicht zu stark zu beanspruchen, wurde dann im weiteren Verlauf der Fahrt das Schiff mit einer geringen Winkellage nach unten gefahren.

Die Breite des mit der Bö verbundenen Regenbandes läßt sich wegen der Fahrtänderung nicht abschätzen. Der Wind sprang von Süd plötzlich auf Nordnordost, dann auf Nordost. Die Temperatur fiel um 4°. Es regnete von 8 Uhr 15 Minuten bis 10 Uhr 30 Minuten vormittags. Typische Instabilitätsbewölkung begleitete die Rückseite der durchstoßenen Böenrinne. Der weitere Verlauf der Fahrt war dann charakterisiert durch das Durchschneiden weiterer Kaltluftstaffeln mit einem Temperaturfall von je 2°, bis die einheitliche Luftmasse des Hochdruckgebietes erreicht wurde. Niederschlag fiel nur beim Passieren der letzten Front bei den Bermudas. Nach Zeitungsmeldungen soll das Schiff in dieser Gegend Schlingen gefahren sein. Dies trifft aber nicht zu, sondern das Luftschiff stand zu jener Zeit noch nordöstlich der Bermudas und nicht nordwestlich, wie voreilig von den Zeitungen angenommen wurde. Kurz vor Erreichen der Küste ließen die amerikanischen Wettermeldungen nochmals eine Konvergenzlinie erkennen. Sie war der Grund, warum ein verhältnismäßig südwärts gelegener Punkt der Küste angesteuert wurde, da es nicht zweckmäßig erschien, mit dem havarierten Schiff diese Störungslinie weiter im Norden zu durchstoßen, wo mit größerer Intensität der Böenentwicklung gerechnet werden mußte.

Für die Rückfahrt war es auf Grund der amerikanischen Wetterkarten nur möglich, sich ein ganz ungefähres Bild von den Witterungsbedingungen über dem Nordatlantik zu machen, da die amerikanischen Prognostiker naturgemäß an der Wetterlage ostwärts ihres Kontinents kein so großes Interesse haben und

daher auch von dort nur über spärliche Beobachtungen verfügen.

Der erste Teil der Fahrt gestaltete sich für die Schiffsführung schwierig. Das Schiff kam bald in einen Nordwest mit Stärke 5—6, die sogar auf 7 auffrischte. Ein leichtes Schlingern und Stampfen machte sich bemerkbar. Die Bewegungen waren wohl deutlich, aber doch so weich, daß sie keine Seekrankheit aufkommen ließen. Um 12 Uhr am 29. Oktober war ein Punkt südlich Halifax erreicht. Ein heftiger Nordwest mit Stärke 7 wehte auf der Rückseite des bereits in der allgemeinen Witterungsübersicht erwähnten Tiefdruckausläufers. Eine halbe Stunde später wurden die ersten zusammenhängenden Fronten angetroffen. Sie traten zunächst in Abständen von 5—6 Minuten, dann in 2—3 Stunden Zwischenraum auf. Um 5 Uhr nachmittags zeigte ein Drehen des Windes auf Südsüdwest mit Stärke 6 bis 7, daß das Luftschiff in den warmen Sektor vorgestoßen war. Eine starke Süddünung war zu beobachten. Die Temperatur stieg von 2 auf 12° an. Nebel, der bis 100 m reichte, bedeckte das Meer; über ihm befand sich eine geschlossene Wolkendecke. Dies dürfte die Zeit gewesen sein, in der das Luftschiff am meisten abgetrieben wurde. Nach Aufklären des Nebels stand es über Land. Später wurden Leuchtfeuer sichtbar. Wie groß die Sturmesstärke gewesen sein muß, geht daraus hervor, daß selbst bei voller Motorenkraft das Schiff allmählich zurückgetrieben wurde, dabei lag es aber ruhig im Winde. Seine Geschwindigkeit betrug 145 km in der Stunde. In dieser Situation konnte die Schiffsführung nichts anderes tun, als das Schiff so zu legen, daß es durch den Sturm selbst aus dem stärksten Windgebiet herausgedrückt wurde. Daß dies im Laufe der Nacht geschah, zeigte sich an dem allmählichen Auflösen der Bewölkung. Im Mondschein bot sich ein eindrucksvolles Bild des mit Eisbergen und Scholleneis bedeckten Meeres. Um 7 Uhr morgens des 30. Oktober war allerdings die Windstärke noch 9 und flaute dann auf 8 ab. Die erste Funkverbindung um 10 Uhr vormittags, die mit dem Dampfer „Berlin" aufgenommen werden konnte, gab durch den Wetterbericht der Seewarte Klarheit über die Lage. Danach mußte das Schiff nach kurzer Zeit in den Hochdruckrücken kommen. Dies war auch um 11 Uhr der Fall. Um 3 Uhr war die Kammlinie des Hoch überschritten, und damit bekam das Schiff guten Rückenwind. Unter 53° Nord wurde der Kurs Südost genommen und die folgende Nacht über beibehalten. Einige Böen wurden passiert, sie äußerten sich in Stampfen und leichten Schlingerbewegungen. Um 10 Uhr vormittags am 31. Oktober stand das Schiff 300 Seemeilen nordöstlich Kap Finisterre. Wettermeldungen lagen jetzt genügend vor. Die Fahrt über Frankreich ging glatt vonstatten. Am nächsten Morgen war es nur interessant, zu bemerken, daß beim Passieren einer Inversion über dem Schwarzwald besonders starke Vibrationen auftraten. Bei der Landung selbst war das Schiff nur schwer in die kalte Bodenluft hineinzubringen. Kn.

Mitteilungen aus verschiedenen biologischen Gebieten.

Paläomyologie. Daß den Paläozoologen so gut wie stets nur Hartteile zur Untersuchung kommen, stört sie immer weniger. Ihre „indirekten Methoden", ihre zoologischen Vergleichsstudien sind ihnen heute selbstverständlich geworden und so gibt es jetzt schon außer der Palethologie („Paläobiologie": Lehre von der Lebensweise fossiler Tiere) eine Paläopathologie, Paläoneurologie, ja Paläopsychologie (wie die Erforschung der Kräfte, die einen fossilen Wurm bei der Anlegung einer bestimmten Fährte geführt haben). Da Muskelansatzstellen oft sehr deutliche Züge auch versteinerter Knochen sind, wird auch eine paläontologische Muskellehre betrieben, und sie führt zu recht bemerkenswerten Ergebnissen.

In *Hind Limb Musculature and Habits of a Paleocene Multituberculate* (American Museum Novitates Nr. 333, Nov. 1, 1928; S. 1—19) haben G. G. Simpson und H. O. Elftman solch eine paläomyologische Untersuchung ausgeführt an Multituberkulaten: einer Säugergruppe, die schon in der Trias und noch an der Basis des Eocän gefunden wird, zu der also die ältesten bisher bekannten Säugerreste gehören, in der man aber (schon wieder einmal!) doch nicht die Ahnen irgendwelcher späterer Säugetiere sieht, sondern einen besonderen Seitenzweig des Säugerstammes.

Ihre isolierte Stellung und die bisherige Spärlichkeit ihrer Überbleibsel haben nicht verhindert, daß man von solchen Tieren doch bereits Lebensweise, Nahrung, Funktionieren einzelner Muskeln kennt.

An einem eingehend untersuchten Becken mit Hinterbeinen des kaninchengroßen *Eucosmodon* aus dem ältesten Paleocän waren die wichtigsten Muskelansätze klar zu sehen. Vergleich mit der Myologie rezenter Tiere, insbesondere von Monotremen und Marsupialiern, ließ mit mehr oder weniger großer Sicherzeit *Ursprung und Ansatz von 23 Muskeln* erkennen. Die Muskeln konnten in 6 Abbildungen so überzeugend wie rezente Muskelpräparate dargestellt, in Übersichtstafeln sogar nach ihren Funktionen geordnet werden als Protraktoren (die Glied oder Körper nach vorn ziehen), Levatoren (Heber) und Rotatoren (Roller) — natürlich ist fast keiner der Muskeln nur an einer dieser Bewegungen beteiligt —.

Unterlage zur Feststellung ihrer Bewegungsart ist die Kenntnis der normalen Gliederstellung. Da alle Gelenke an Becken, Hand und Fuß gut erhalten waren ist z. B. sicher, daß die gewöhnliche Stellung der Oberschenkel fast horizontal war: nach auswärts, vorwärts und nur ganz wenig nach abwärts. Die Nachteile einer solchen fast noch reptilienhaften Stellung des ja auch noch primitiv fünfzehig plantigraden Beines wurden aber etwas ausgeglichen durch eine ungewöhnlich große Drehbarkeit des Femur. Diese ist schon am Gelenk erkennbar, dann sind aber auch Trochanter major und Trochanter minor als Ursprungsstellen von Drehmuskeln besonders stark entwickelt.

Eucosmodon ist an den verschiedensten Fundorten, aber immer in ähnlicher Facies gefunden worden: seine Umgebung läßt sich als Ebene mit großen Flüssen und vielen feuchte Wärme liebenden Bäumen rekonstruieren. Da die untersuchten Körperteile keinerlei Anpassung an Wasserleben oder grabende Tätigkeit zeigen, die Füße vielmehr sehr beweglich und bekrallt sind, konnte also bereits auf Baumleben geschlossen werden. Nun weist auch die Beckenmuskulatur darauf hin, daß *Eucosmodon* sich behend, rasch und wohl vorwiegend auf Bäumen bewegte; sie boten ihm Schutz vor den zahlreichen in der gleichen Schicht gefundenen Raubtieren. Tilly Edinger.

Neue Ergebnisse über die Formbildung bei Tunicaten. Gegenüber den Formbildungsvorgängen, welche bei der Entwicklung eines Organismus aus dem Ei vor sich gehen, bieten die verschiedenen, zur Wiederherstellung eines verletzten oder sonst geschädigten Organismus führenden Prozesse ein besonderes Problem, sobald man den Vorgang der Formbildung bis zu den

Leistungen der Zelle zurückzuverfolgen sucht. Der Ausgangspunkt der Embryonalentwicklung ist die Eizelle, und sie ist auch Träger der für das spezifische Ergebnis der Formbildung maßgebenden Potenzen. Bei den verschiedenen Arten von Wiederherstellungserscheinungen dagegen liegt der zelluläreAusgangspunkt der Formbildung durchaus nicht so klar zutage, und diese Frage hat gegenüber anderen lange Zeit die Aufmerksamkeit der Forschung nur in geringem Grad zu fesseln vermocht oder sich durch technische Schwierigkeiten der Beantwortung entzogen. Zunächst galt es, experimentell den Umfang der Regenerationsfähigkeit bei verschiedenen Tiergruppen zu bestimmen, und späterhin, in der Blütezeit der Keimblattlehre, schien die Frage nach der Herkunft eines Regenerates prinzipiell gelöst, wenn festgestellt war, ob es demselben oder einem anderen Keimblatt entstammte, wie die verlorengegangene Bildung, die es zu ersetzen hatte. So blieb die weitere Frage meist ungeklärt, welcher Art die regenerierenden Zellen sind, und was in ihnen vorgeht. Nähere Untersuchungen ergaben dann, daß die Regeneration in manchen Fällen von fertig differenzierten Zellen ausgeht, welche bereits eine bestimmte Funktion erfüllt haben. Dabei kann einerseits nach dem alten Satz „Gleiches von Gleichem“ regeneriert werden, indem z. B. eine abgeschnittene Nervenfaser durch Auswachsen des an der Ganglienzelle erhalten gebliebenen Stumpfes in der alten Bahn ersetzt wird. Andererseits können aber die fertig differenzierten Zellen, von denen die Regeneration ausgeht, auch eine tiefgreifende Umdifferenzierung durchmachen. Sehr gut bekannt ist dieser theoretisch besonders wichtige Fall von Regeneration bei der Wiederherstellung der Linse im Amphibienauge von den Zellen des oberen Irisrandes aus, die ihr Pigment verlieren, eine Blase bilden und im Innern derselben Linsenfasern entstehen lassen. Hier handelt es sich also um eine Entdifferenzierung mit darauffolgender Differenzierung in anderer Richtung, und ebenso werden auch viele andere als Metaplasien beschriebenen Umwandlungen in Geweben aufzufassen sein. Bei der physiologischen oder repetierenden Regeneration der äußeren Oberhautschichten der Wirbeltiere werden die neuen Lagen von Hornzellen von einem Gewebe gebildet, das seinerseits noch nicht zu Hornzellen, wohl aber als Epithel differenziert ist. Erscheinungen dieser Art, bei welchen die Neubildung von relativ aber nicht völlig undifferenziertem Gewebe ausgehen, bilden einen Übergang zu solchen Wiederherstellungsvorgängen, die wie bei Pflanzen von ruhenden Knospen oder anderen embryonal gebliebenen Reservekomplexen oder z. B. bei Hydra von den interstitiellen Zellen ausgehen, welche auf direktem Wege Nesselkapseln, Geschlechtszellen, Entoderm- oder Ektodermzellen bilden können. Die Natur des Ausgangsmaterials schließt diese Art von Regenerationsvorgängen unmittelbar an die Embryonalentwicklung an, welche von der idealen undifferenzierten Zelle ausgeht.

Einen interessanten Fall dieser Art hat neuerdings Spek für die durch ihr mannigfaches Wiederherstellungsvermögen berühmte Ascidie Clavellina lepadiformis beschrieben in seiner Arbeit „*Über die Winterknospenentwicklung, Regeneration und Reduktion bei Clavellina lepadiformis und die Bedeutung besonderer ‚omnipotenter‘ Zellelemente für diese Vorgänge*“ [Roux' Arch. 111 (1927)]. Durch Vitalfärbung, besonders mit Neutralrot oder Nilblausulfat, läßt sich in den verschiedenen Körperregionen im Mantel, im Bindegewebe und im Blut von Clavellina eine besondere Zellart hervorheben, welche im fixierten Präparat im allgemeinen nicht von den Mesenchymzellen zu unterscheiden ist und wohl darum bisher nicht gesondert beschrieben wurde. Im Leben ist sie durch einen den betreffenden Farbstoff in hohem Maße speichernden, in ungefärbtem Zustand glashellen und stark glänzenden großen Einschlußtropfen ausgezeichnet. Manche Epithelien des Kiemenkorbes und des Darmes sind normalerweise stets von diesen „Tropfenzellen“ unterlagert, und diese letzteren wandern auch mit ihren Tropfen in die Epithelien ein. Durch eine Reihe chemischer Reaktionen ist die Substanz der Tropfen als Eiweiß zu erkennen, dem vielleicht Lipoide beigemengt sind. Im allgemeinen scheinen die Tropfenzellen bei ihrer Einwanderung in andere Gewebe nur als Nährstofflieferanten zu dienen. Ihre formativen Potenzen, die sie zur Bildung des größten Teiles eines neuen Organismus befähigen, treten am klarsten bei der Winterknospenbildung und den sog. Reduktionsvorgängen hervor. Die erstere tritt in kälteren Meeren normalerweise im Herbst auf — daher der Name — kann aber auch sonst jederzeit durch ungünstige Lebensbedingungen wie Sauerstoffmangel oder Alteration beim Abkratzen vom Felsen ausgelöst werden. Während die Gewebe des Körpers zerfallen, bilden sich mächtig anschwellende Stoloschläuche, die sich als Blasen ablösen und in diesem Zustand Wochen oder selbst Monate liegen bleiben, ehe sie keimen. An vitalgefärbten Tieren sieht man, wie diese Winterknospenbildung zustande kommt. In dem anschwellenden Stolostück sammeln sich zahllose Tropfenzellen, die fast restlos aus allen im Absterben begriffenen Geweben auswandern, um völlig unversehrt unter lebhaftem Pseudopodienspiel auf dem Wege über das Lakunensystem des zugrunde gehenden Tieres die Stolonen zu erreichen. Die abgelöste Knospe besteht aus einem Epithelsack und einem Brei von Tropfenzellen. Von diesen scheinen einige in das Epithel einzuwandern, in dem man bald rote Tropfen auftreten sieht. Andere verschmelzen zu „Zellpaketen“, welche bei Einsetzen der unter starkem Stoffverbrauch vor sich gehenden Keimung den Ausgangspunkt des neuen Organismus bilden, indem sie sich zur Anlage der Darmschleife zusammenlagern. Während die übrigbleibenden Zellpakete aus ihrer Umgebung verschwinden, sammeln sich neue einfache Tropfenzellen um die Anlage. Sie zeigt stets schon in ihren frühesten Stadien eine eigenartige Asymmetrie, welche als erste Andeutung der hufeisenförmigen Krümmung des Darmes aufzufassen sein dürfte. Die Entstehung der übrigen inneren Organe wurde noch nicht näher verfolgt. Da für sie keine anderen Elemente zur Verfügung stehen, liegt die Annahme nahe, daß sie auf ähnliche Weise wie der Darm aus Tropfenzellen entstehen.

Nicht immer geht die Neubildung nach ernsterer Schädigung auf dem Wege der Winterknospenbildung vor sich. Sie kann auch das Ergebnis eines sog. Reduktionsvorganges sein, bei dem scheinbar das geschädigte Tier als Ganzes zu einem neuen Organismus umgearbeitet wird. Driesch erwog bei seiner Darstellung dieser Vorgänge die Möglichkeit, daß sämtliche Gewebe eine Entdifferenzierung und daran anschließende Neudifferenzierung durchmachten und bei der Neubildung in ihrer Gesamtheit als harmonisch-äquipotentielles System wirksam wären. Es fand sich auch ein Beobachter, der die von Driesch vorsichtig als Möglichkeit erörterte Entwicklungsumkehr gesehen zu haben meinte. Schaxel widerlegte diese Angabe und behauptete, die Neubildungen nach der Reduktion entständen als Regenerate von bestimmten Reservezellen aus, die in den verschiedenen Geweben verstreut sein sollten. Spek konnte solche Reservezellen jedoch nicht finden, dagegen beobachtete er, daß der neue Organismus nicht eher entsteht, als bis die sämtlichen inneren Organe vollständig eingeschmolzen sind. Wenn dieser Zustand erreicht ist, gleicht die ganze Clavellina voll-

ständig einer Winterknospe. Sie besteht aus einem Epithelsack, der aber nicht aus einem Stoloabschnitt hervorgegangen ist sondern der Körperwand des ganzen Tieres entspricht und von einem Zellbrei erfüllt ist. Die Vitalfärbung zeigt, daß dieser auch hier aus Tropfenzellen und Paketen von solchen besteht, die bei der völligen Auflösung aller Organe intakt geblieben sind und in genau der gleichen Weise wie bei der Auskeimung der Winterknospe durch Zusammenlagerung zu einer Darmschleifenanlage die Bildung des neuen Tieres in die Wege leiten. Diese beiden Vorgänge zeigen die formativen Potenzen der Tropfenzellen bzw. der aus ihnen gebildeten Zellpakete aufs deutlichste. Die Bildung neuer Organsysteme durch einfaches Zusammenfügen einzelner freier Zellgruppen fordert zum Vergleich heraus mit den Neubildungen, welche bei Schwämmen, Polypen und Medusen aus bis zur Trennung in einzelne Zellen zerriebenen Tieren ebenfalls durch ein Zusammenwandern von freien Zellen entstehen. Es ist noch nicht sicher entschieden, aber wohl nicht unwahrscheinlich, daß sich hier nur die embryonal gebliebenen ,,Archaeozyten" zu dem neuen Organismus vereinigen. Bei Clavellina ist jetzt durch die Vitalfärbungsversuche von SPEK sichergestellt, daß hier nur eine bestimmte undifferenzierte Zellsorte dazu imstande ist. Interessant wäre eine experimentelle Prüfung der von SPEK aufgeworfenen Frage, ob vielleicht bei Clavellina das Epithel der Winterknospe und des Reduktionstieres mit einem forminduzierenden Einfluß an der Bildung der neuen Darmanlage beteiligt ist.

Außer den bisher geschilderten fallen den Tropfenzellen noch eine Reihe weiterer Funktionen zu, bei denen es sich hauptsächlich um eine Lieferung von Reservesubstanz an andere Zellen zu handeln scheint. Dieser Art ist ihre Rolle offenbar bei der Eibildung, bei der Auffrischung leicht geschädigter Gewebe, an die sie ihre Tropfensubstanz abgegeben, und, soweit sie überhaupt daran beteiligt sind, auch bei den eigentlichen Regenerationsvorgängen, wo im Gegensatz zu den Wiederherstellungserscheinungen nach Reduktion oder Winterknospenbildung verloren gegangene Körperteile von den erhalten gebliebenen aus neugebildet werden. Schließlich wandern Tropfenzellen auch in das heranwachsende Ei, um hier wenigstens einen Teil der Tropfensubstanz zu behalten und als ,,Testazellen" in den Mantel des jungen Tieres zu gelangen. Dieser Durchgang eines Teiles der Tropfenzellen durch die Generationen erinnert von einer anderen Seite her wiederum an die Eizelle, mit der die Tropfenzelle, abgesehen von ihrer Undifferenziertheit und ihren mannigfachen formativen Potenzen, auch noch darin übereinstimmt, daß ihr äußerlich hervorstechendstes Kennzeichen eine reichliche Ausstattung mit Reservestoffen ist, welche in bestimmten Fällen bis zum Einsetzen formativer Leistungen aufgespart werden. K. HENKE.

Zur Physik der Transpiration. Durch die interessanten Untersuchungen von BROWN und ESCOMBE ist zu Beginn dieses Jahrhunderts das Problem der Spaltöffnungstranspiration in sehr einschneidender Weise gefördert worden. Ausgehend von der bekannten physikalischen Erfahrungstatsache, daß die Verdunstung durch perforierte Flächen viel größere Ausmaße erreichen kann, als die Verdunstung einer freien Fläche, die dem addierten Porenareal entspricht, sprachen sie die Vermutung aus, daß im Grenzfall die Wasserabgabe der Blätter durch die Spaltöffnungen, also die stomatäre Transpiration, zu einer Größenordnung emporsteigen kann, die der Verdunstung einer Wasserfläche von der Größe der Blattfläche gleichkommt. Die Blätter würden sich danach hinsichtlich der Wasserabgabe so verhalten, wie wenn sie keine Epidermis besäßen. Es ist ohne weiteres klar, welche weitgehenden Folgen ein solches Verhalten für die Wasserbilanz nach sich ziehen muß. Denn während auf der einen Seite bei geöffneten Spalten eine durch die Epidermis fast ungehemmte Transpiration stattfindet, können auf der anderen durch Spaltenschluß Transpirationsverluste fast vollständig abgeriegelt werden. Die Angaben von BROWN und ESCOMBE sind vielfach in die Literatur übergegangen, haben aber vereinzelten Widerspruch erfahren. Deshalb greift BRUNO HUBER das Problem mit neuen Experimenten auf und gelangt zu einer vollen Bestätigung der Auffassung der englischen Forscher [Ber. dtsch. bot. Ges. **46** (1928)]. SIERP und SEYBOLD, gegen die sich die Mitteilung von HUBER wendet, untersuchten die Verdunstungswerte durch eine perforierte Metallplatte und verglichen sie mit der Verdunstung einer der Größenordnung der Metallplatte entsprechenden Wasseroberfläche. ,,Sie hatten ein konstantes Gesamtporenareal von 3,12 qmm auf einer Fläche von 20×20 cmm in immer feinere Poren aufgeteilt und hatten dabei wohl einen Verdunstungsanstieg von 6,4% der freien Verdunstung bei einer Pore (2 mm Durchmesser) bis zu 42% bei 1600 Poren (50 μ Durchmesser) beobachtet. Damit waren sie aber noch immer weit vom Wert der freien Verdunstung entfernt, und so schien es ihnen nicht ohne Grund fraglich, ob die geringfügige weitere Größenabnahme, die sie noch von den Dimensionen der Spaltöffnungen trennte, genügen würde, um die freie Verdunstung zu erreichen." Das Gesamtporenareal betrug bei SIERP und SEYBOLD 0,8% der ganzen Fläche. An diesem Punkt setzt die Kritik von HUBER ein. Er beruft sich dabei auf die Tatsache, daß in der pflanzlichen Epidermis Spaltareale zwischen 1 und 2% der gesamten Blattoberfläche noch sehr häufig sind, und sogar Werte bis zu 3,6% genannt werden. Deswegen stellte HUBER mit prinzipiell gleicher Methodik Versuchsreihen an, bei denen einheitlich ein Porendurchmesser von 50 μ gewählt wurde, das gesamte Porenareal aber von 0,8% bis 5% schwankte. Er fand dabei folgende Werte:

Porenareal		Verdunstung verglich. mit freier Wasseroberfläche
0,8 %	(SIERP u. SEYBOLD)	42 %
1,8 %	(HUBER)	48— 56 %
3,2 %	(HUBER)	66— 76 %
5,0 %	(HUBER)	83—103 %

Es zeigt sich also, daß eine Vergrößerung des Porenareals in einer für die Pflanzen möglichen Größenordnung die Verdunstung im Extrem so weit emportreibt, wie es einer freien Oberfläche entspricht. Die

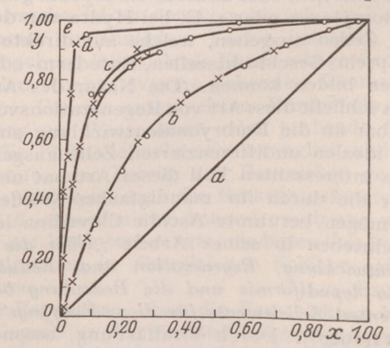


Fig. 1. Relative Verdunstung (y in Bruchteilen der freien Verdunstung) als Funktion des Porenareals (x in Bruchteilen der Gesamtfläche). Die Kurven a bis e beziehen sich auf verschiedene Porengrößen: a) Grenzkurve für unendlich große Poren (Flächenproportionalität); b) Kurve für 1 qcm-Poren; c) Kurve für 1 qmm-Poren (die zweite Teilkurve stammt von einem anderen Versuch); d) Kurve für 2000 μ^2-Poren; e) Grenzkurve für unendlich kleine Poren. In allen Kurven sind die empirisch bestimmten Punkte mit Kreuzen, ihre Spiegelbilder in bezug auf die Diagonale mit Ringen bezeichnet.

Porengröße von 50 μ liegt noch um das etwa Dreifache über der Porenweite der Spaltöffnungen. So eröffnet sich die Möglichkeit, daß sich hierfür eine noch günstiger Verdunstungskurve ergeben würde, wobei freilich zu bemerken ist, daß HUBER die extrem hohen Werte über 80% in Kontrollversuchen nicht ganz sichern konnte. Der Einfluß von Porenweite und Porenareal auf die Verdunstung ist aus der beigefügten Figur zu ersehen.

Aus Fig. 1 ergibt sich, daß mit sinkender Porenweite die Verdunstung mehr und mehr über den Wert hinausgreift, der dem Anteil an der Gesamtfläche (Flächenproportional) entsprechen würde. Der relative Transpirationsüberschuß steigt bei allen Teilkurven zunächst gewaltig an, konvergiert aber gegen Schluß nach Null. Der maximale Überschuß gegenüber der Flächenproportionalität wird dabei um so früher erreicht, d. h. bei um so kleinerem Porenareal, je geringer die Porenweite ist. So kommt es, daß für unendlich kleine Poren (Kurve e) der Wert für die freie Verdunstung schon bei unendlich kleinem Porenareal erreicht wird. Es besteht kein Zweifel darüber, daß die Verdunstungskurve für die Spaltöffnungen zwischen den Kurven d und e hindurchläuft. Der maximale Verdunstungseffekt wird also sehr schnell erreicht, und die Pflanze hätte vom Standpunkt der Transpiration kaum einen Nutzen davon, wenn das Porenareal viel über 3% hinausginge. Hingegen ruft eine kleine Verringerung, wie sie durch eine Änderung der Spaltenweite erzielt wird, bereits eine beträchtliche Herabsetzung der Transpiration hervor, wie aus der Kurve zu ersehen ist. Es muß der Zukunft überlassen bleiben, diese Untersuchungen, die von HUBER selbst als vorläufig bezeichnet werden, noch weiter auszubauen.

P. STARK.

Astronomische Mitteilungen.

Interstellares Calcium. Im Jahre 1904 teilte J. HARTMANN mit, daß in dem Spektrum des spektroskopischen Doppelsterns δ Orionis die Linien H und K des Calciums an der periodischen Verschiebung der übrigen Spektrallinien nicht teilnehmen. Auch im Aussehen unterscheiden sich diese Linien auffällig von den a deren, sie sind scharf und schmal, während alle anderen Linien verwaschen und breit sind. HARTMANN folgerte aus diesen Erscheinungen, daß diese beiden Calciumlinien nicht in der Atmosphäre des Sterns entstehen und erklärte ihr Auftreten durch das zufällige Vorhandensein einer Calciumwolke zwischen der Sonne und dem Stern, in welcher das von dem Stern kommende Licht der Wellenlängen H und K absorbiert wird. Im Laufe der Zeit wurden diese anormalen Linien, für welche sich die Bezeichnung „ruhende Calciumlinien" einbürgerte, in den Spektren einer großen Zahl von Sternen gefunden. Man erkannte bald, daß sie nicht nur bei spektroskopischen Doppelsternen auftreten, sondern auch bei Sternen mit konstanter radialer Geschwindigkeit vorkommen. Es wurden auch spektroskopische Doppelsterne gefunden, bei welchen diese Ca-Linien eine Oscillation mit der Periode der Bahnbewegung ausführen, aber eine kleinere Amplitude als die übrigen Linien zeigen. Nach unserer bisherigen Erfahrung ist das Vorkommen der ruhenden Ca-Linien augenscheinlich eng mit dem Spektraltypus verknüpft; sie treten nur bei Sternen der Spektralklassen O bis B 3 auf und sind in den Spektren der meisten dieser Sterne vorhanden. In normalen Sternspektren späterer Klassen sind die Linien bisher noch nicht gefunden worden, nur bei einigen neuen Sternen waren sie vorhanden. Bei manchen Sternen, welche ruhende Ca-Linien im Spektrum zeigen, ist auch ein anormales Verhalten der D Linien des Natriums festgestellt worden, auch diese sind auffällig scharf und zeigen einen von den übrigen Linien abweichenden Dopplereffekt. Die aus den Ca- und Na-Linien abgeleitete Radialgeschwindigkeit unterscheidet sich häufig beträchtlich von der radialen Geschwindigkeit des betreffenden Sterns. In den meisten Fällen entspricht sie der in die Richtung nach dem Stern fallenden Komponente der Geschwindigkeit der Sonne oder ist nur wenig von dieser verschieden, so daß hiernach die absorbierende Wolke als ruhend in bezug auf das Sternsystem angesehen werden muß oder nur geringe Bewegung lokaler Art besitzt.

Zur Erklärung des Auftretens dieser Linien in den Spektren der heißesten Sterne sind mehrere Theorien aufgestellt worden, von denen hier jedoch nur zwei erwähnt werden mögen. Die eine, von J. S. PLASKETT begründete, nimmt an, daß die ruhenden Linien in einer im Raume weit verbreiteten Wolke geringer Dichte in der Nähe des betreffenden Sternes entstehen. Durch die Strahlung eines heißen Sternes werden die in seiner Nachbarschaft vorhandenen Ca-Atome ionisiert und absorbieren dann das vom Stern kommende Licht der Wellenlängen H und K. Diese Theorie erklärt somit die auffallende Beobachtungstatsache, daß die ruhenden Ca-Linien nur in den Spektren sehr heißer Sterne gefunden werden. Ihr Fehlen bei Sternen späterer Spektraltypen läßt sich dadurch erklären, daß die Strahlung dieser Sterne nicht mehr hinreicht, die Calciumatome der Wolke zu ionisieren, so daß diese nicht in der Lage sind, die Linien H und K zu absorbieren. Es ist aber nicht möglich, mit dieser Theorie das Fehlen der Hauptlinie 4227 Å des neutralen Calciumatoms zu erklären, die bei keinem O- oder B-Stern gefunden worden ist. Wenn die Calciumatome nur in der Nähe des Sternes durch seine Strahlung ionisiert werden, müßte sich in größerer Entfernung von ihm neutrales Calcium vorfinden, dessen Vorhandensein durch das Auftreten der Linie 4227 Å angezeigt werden müßte, ähnlich wie das neutrale Natrium durch die D Linien nachgewiesen wird. Die PLASKETTsche Theorie wird also in diesem Punkte den beobachteten Tatsachen nicht gerecht.

Die zweite Theorie ist von EDDINGTON aufgestellt. Er nimmt an, daß der ganze interstellare Raum von außerordentlich fein verteilter Materie erfüllt wird, deren Dichte auf etwa 10^{-24} gr/ccm veranschlagt werden kann. Alle in ihr enthaltenen chemischen Elemente, deren Ionisationspotential nicht größer als 15—20 Volt ist, sind ionisiert, so daß insbesondere Na einfach und Ca doppelt ionisiert ist. Durch fortwährendes Einfangen eines freien Elektrons werden Ca + und neutrale Na-Atome gebildet, welche dann die von irgendeinem Stern kommende Strahlung der Wellenlänge der H und K oder der D Linien absorbieren. Die ruhenden Ca- und Na-Linien entstehen also nach dieser Theorie durch Absorption auf dem ganzen Wege des Lichtes durch den interstellaren Raum. Infolge der außerordentlich geringen Dichte der im Raum vorhandenen Calcium- und Natriumatome erreicht die Intensität der entsprechenden Absorptionslinien aber nur für sehr weit entfernte Sterne solche Beträge, daß die Linien im Sternspektrum sichtbar werden. Bei Sternen, deren Abstand von uns einen gewissen Minimalbetrag nicht erreicht, fehlen die Linien; sie würden merkbar werden bei weiter entfernten Sternen und an Intensität immer mehr zunehmen, je größer die Entfernung des betreffenden Sternes vom Beobachter wird. Ihr Auftreten ist unabhängig vom Spektraltypus, sie müßten auch bei Sternen vorkommen, deren Spektralklasse später ist als B 3, wenn nur ihr Abstand eine gewisse untere Grenze überschreitet. Beobachtungen nach dieser Richtung sind — abgesehen von den oben erwähnten neuen Sternen, die in der Tat alle sehr weit von uns entfernt

sind — noch nicht vorhanden und würden, falls sich die Linien in den linienreichen Spektren geeigneter Sterne der späteren Spektralklassen auffinden ließen, eine kräftige Stütze der EDDINGTONschen Theorie sein.

Die Prüfung der Frage nach der Abhängigkeit der Intensität der ruhenden Calciumlinien von der Entfernung der Sterne hat O. STRUVE in zwei Arbeiten (Astrophys. J. 65, 163 und 67, 353) näher untersucht. Er benutzt in der ersten Arbeit 321 Sterne mit Spektren von Spaltspektrographen und erweitert die dabei gefundenen Resultate in der zweiten Arbeit durch die Verwendung der in der HARVARD-Sternwarte vorhandenen Sammlung von Spektren, die mit Objektivprismen aufgenommen sind, und somit die Mitnahme schwacher Sterne ermöglichen. Insgesamt werden etwa 2100 Sterne auf 1500 Platten untersucht. Die Intensität der K Linie wird nach einer Skala von 0 bis 10 geschätzt, wobei 10 großer Intensität entspricht, die z. B. die K Linie im Spektrum von 9 Cephei besitzt. Eine Einheit dieser Skala entspricht dem kleinsten wahrnehmbaren Intensitätsunterschied. Da das verwendete Material in Hinsicht auf die angewandte Dispersion sehr inhomogen ist — es kommen Dispersionen zwischen 44 Å bis 320 Å pro Millimeter vor — wurde besondere Rücksicht auf die Vermeidung von systematischen Fehlern genommen. Aus diesem Grunde wurde zum Vergleich außer der Intensität von K — H ist wegen der störenden Nachbarschaft von $H\varepsilon$ unbrauchbar — auch noch diejenige der Si ++-Linie 3924 Å mit geschätzt.

Diese Intensitätsschätzungen sind mit relativ großer Genauigkeit und, wie STRUVE zeigen kann, ohne wesentliche systematische Fehler ausgeführt worden. Sie lassen erkennen, daß bei der Mehrzahl der Sterne die ruhende K Linie verhältnismäßig schwach ist, im Durchschnitt für alle Sterne ergibt sich die mittlere Intensität zu 3,3 in der STRUVEschen Skala. Zur Untersuchung der Abhängigkeit der Intensität von der Entfernung verwendet STRUVE, da direkte Entfernungen für diese Sterne im einzelnen nicht bekannt sind, die scheinbaren Sternhelligkeiten, die in erster Annäherung als Maß für die Entfernungen verwendet werden dürfen. Eine Gegenüberstellung der geschätzten Linienintensitäten und der Sternhelligkeiten läßt nun eine deutliche, wenn auch schwache, Zunahme der Intensität von K mit abnehmender Helligkeit der Sterne erkennen. Das gesamte Material ist in folgender Tabelle zusammengefaßt, die der zitierten Arbeit von STRUVE entnommen ist und die Zunahme der Intensität von K mit abnehmender Sternhelligkeit zeigt.

Scheinb. Helligkeit in Größenklassen	Zahl der Sterne	Durchschnittliche Intensität von K
m m		
0— 1	1	1,0
1— 2	10	0,97
2— 3	32	1,39
3— 4	42	1,85
4— 5	141	2,41
5— 6	205	2,91
6— 7	316	3,12
7— 8	389	3,60
8— 9	372	3,70
9—10	182	4,04
10—11	27	4,44

Die Intensität der K Linie nimmt hiernach in linearer Weise um 0,4 Einheiten der Skala zu bei einer Abnahme der scheinbaren Sternhelligkeit um eine Größenklasse. Daß diese Erscheinung nicht durch systematische Fehler vorgetäuscht wird, zeigt die Untersuchung der oben erwähnten Siliciumlinie. Bei ihr ist keine solche Abhängigkeit nachweisbar, ihr Verhalten wird vielmehr durch den Spektraltypus in der von der Ionisationstheorie geforderten Weise bestimmt. Bei der K Linie findet STRUVE ebenfalls eine geringe Änderung der Intensität mit der Spektralklasse in der Weise, daß die Intensität am größten ist bei den O-Sternen und am kleinsten bei Sternen des Typus B 3. Dieses Verhalten steht im Widerspruch mit der Ionisationstheorie, nach welcher die O-Sterne die Linien des Ca + überhaupt nicht mehr zeigen dürfen, und deutet somit, unabhängig von anderen Erscheinungen, darauf hin, daß die ruhenden Calciumlinien nicht in den Atmosphären der betreffenden Sterne entstehen können.

In bezug auf die Verteilung der untersuchten Sterne am Himmel zeigt sich, daß in manchen Gegenden Sterne mit besonders schwacher K Linie überwiegend vorhanden sind, z. B. im Orion, während im Cygnus, Cepheus und Perseus in der Hauptsache Sterne mit kräftiger K Linie vorkommen. Der Unterschied der Intensitäten beträgt bis zu 3 Einheiten der Intensitätsskala. Nun ist aus den Untersuchungen von KAPTEYN und CHARLIER bekannt, daß mehrere physisch zusammengehörige Gruppen von B-Sternen existieren, von denen wir annehmen können, daß die Sterne einer jeden Gruppe für uns praktisch in der gleichen Entfernung stehen. Eine Zusammenfassung des Materials nach diesen Sterngruppen zeigt, daß innerhalb einer jeden von diesen Gruppen die Intensitäten der K Linie der einzelnen Sterne nur wenig um den Mittelwert der Gruppe herum streuen, daß aber für die einzelnen Sterngruppen stark verschiedene Mittelwerte gelten. So ist z. B. die mittlere Intensität von K für die Orionsterne 2,1 und für die Sterne der Cepheusgruppe 5,1. Ordnet man die mittleren Linienintensitäten nach den aus anderen Untersuchungen bekannten Entfernungen der einzelnen Sterngruppen, so zeigt sich eine Zunahme der Intensität mit dem Abstand der Gruppe. Die Kurve, welche STRUVE hierfür gibt, ist allerdings keine gerade Linie, wie man es vielleicht erwarten könnte. Ihr Verlauf deutet vielmehr darauf hin, daß die Dichte der absorbierenden Calciumatome nach der Grenze des Sternsystems zu abnimmt.

Es sind noch einige Worte zu sagen über diejenigen spektroskopischen Doppelsterne, bei welchen die K Linie eine Verschiebung mit der Periode der Bahnbewegung ausführt aber eine kleinere Amplitude als die übrigen Linien zeigt. Man kann diese Erscheinung durch das Vorhandensein einer K Linie stellaren Ursprungs erklären, die bei Sternen der Spektralklassen B 3 und B 2 noch schwach vorhanden sein könnte und dann mit der ruhenden K Linie zu einer Linie zusammenfließen würde. Durch die periodische Verschiebung der Lage der stellaren Linie würde der Intensiätsschwerpunkt dieser unaufgelösten Doppellinie mit der Periode der Bahnbewegung verlagert werden, die Amplitude des Ausschlages wird jedoch kleiner sein als bei den übrigen Linien des Spektrums.

Im allgemeinen scheinen die Untersuchungen STRUVES eine Abhängigkeit der Intensität der ruhenden Calciumlinien von der Entfernung des betreffenden Sternes zu bestätigen und somit die oben angeführte Theorie EDDINGTONS über den Ursprung dieser Linien zu stützen. Wenn es in Zukunft gelingt, diese Linie auch in den Spektren geeigneter Sterne späterer Spektraltypen aufzufinden, so dürfte damit nachgewiesen sein, daß sie ihren Ursprung in der im interstellaren Raum fein verteilten, ionisierten Materie haben.

OTTO KOHL.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.